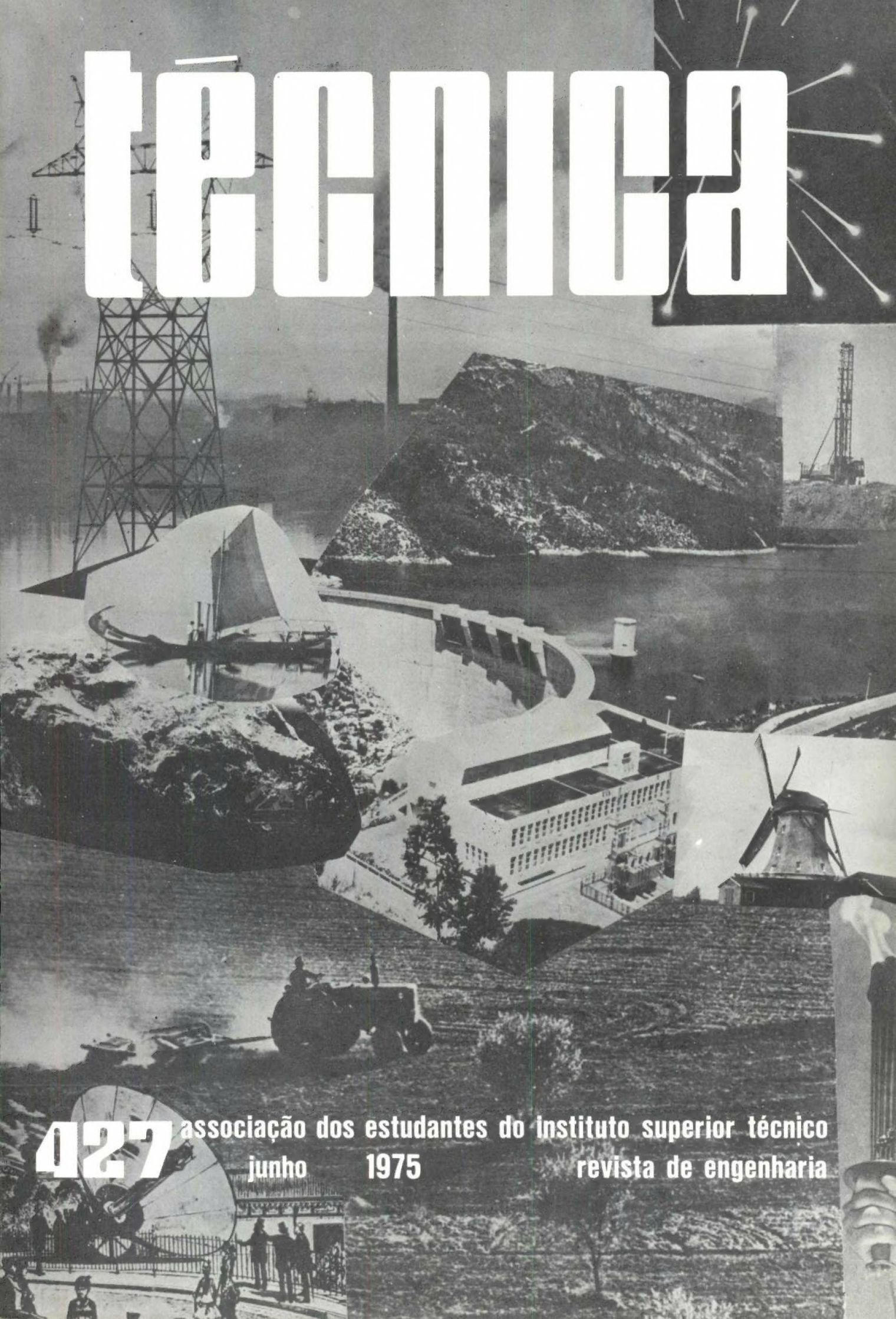
técnica



427 associação dos estudantes do instituto superior técnico
junho 1975 revista de engenharia

Topografia Geral

2.º VOLUME

Pelo Engenheiro

A. C. XEREZ

Preço de cada volume

180$00

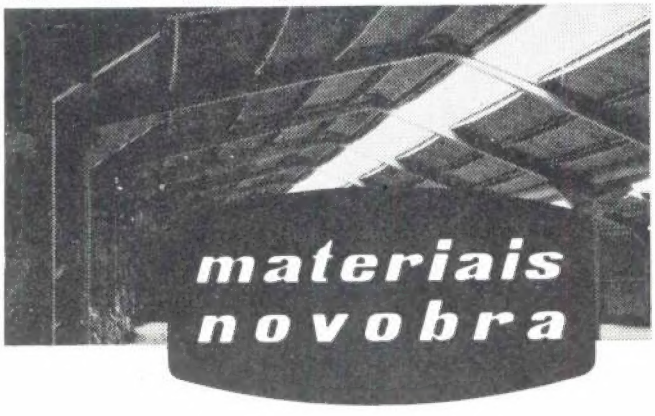
•

Desconto: 10% aos assinantes

Pedidos à Técnica

PÓRTICOS «CRENDON»

De pré-fabricacão total, montagem rapidíssima feita pelas n/ equipas especializadas e de aproveitamento total de todo o espaço em altura visto não existirem linhas de asnas.



A mais vasta gama em pré-fabricados de betão.

Pavimentos, coberturas, asnas, perfis especiais, «post-esforço Losinger», pontões, vigas de grande vão, pórticos «Crendon», pavimento «Trief», protecção de segurança «Trief», mosaicos, tubos, blocos «Leca», espaçadores de betão, estacas para vinhas e pomares e pré-fabricação total ou parcial.

Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda, Moita, Luanda, Lourenço Marques

Sede: Av. Est. Unidos da América, 100-5o. Dto. – Lisboa-5
Telefones – Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53
Serviços Técnicos: 71 41 16/7/8 - 71 93 31/2

ELECTRO-ARCO, S.A.R.L.

- FABRICANTE DE ELÉCTRODOS E ARAME PARA SOLDADURA AUTOMÁTICA
- EQUIPAMENTO PARA SOLDADURA ELÉCTRICA E OXI-ACETILÉNICA
- ACESSÓRIOS

★

MATERIAL APROVADO POR

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
DET NORSKE VERITAS
GERMANISCHER LLOYD
INSTITUTO DE SOLDADURA
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

★

SEDE, FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Rua Vice-Almirante Azevedo Coutinho, 4
VENDA NOVA — AMADORA
Telefs. 97 63 21 - 97 17 33 - 97 64 71 - 97 06 13
DELEGAÇÃO NO NORTE
Rua Delfim Ferreira, 525
PORTO
Telef. 6 21 24

técnica

NÚMERO 427 JUNHO DE 1975 ANO L VOLUME XXXVI PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
José de Oliveira Paulo

CHEFE DE REDACÇÃO
Rogério Caldas Pinto

ADMINISTRADOR
Delmar Baptista

SECRETÁRIO
António Maria da Fonseca

REDACTORES
José Agostinho Marques
Jorge Braz
Armando Ruano
Manuel M. S. Anastácio

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 72 93 23

PROPRIETÁRIO
A. E. I. S. T.

★

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e ilhas	140$00	250$.
Países de língua Portuguesa e Espanha	150$00	270$.
Estrangeiro	—	300$.
Número avulso	—	35$.

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

★

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:
MOVIGRÁFICA
Rua do Espírito Santo, 19-A - Odivelas

SUMÁRIO

317 — CÉSAR AUGUSTO CORREIA DE SEQUEIRA — *«High temperature corrosion of nickel-base alloys in the gas turbine».*

«Corrosão a altas temperaturas das ligas de níquel nas turbinas de gás».

329 — HELDER COELHO — *Memorando sobre a inteligência artificial.*

Overview of artificial intelligence.

343 — S. D. ANTUNES — *A utilização de variáveis pseudo-aleatórias na identificação de sistemas. (1.ª Parte)*

The identification of systems by pseudo-random sequences.

349 — P. MARTINS DA SILVA — *Pavimentos flutuantes. Ensaio em modelo para qualificação do isolamento à transmissão de ruídos de percussão.*

Floating floors. Model tests for assessing the insulation against impact noises.

355 — J. SARAFANA — *Reutilização de água.*

Water reuse.

CAPA — *Congresso Nacional da Energia, (Setembro 75).*

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	pág.
Aguiar & Melo, Lda.	X
Construções Técnicas	IV
EFACEC	VII
Electro-Arco, Lda.	2.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	VI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	V
Fanafel	V
Ferrunil	II
MAGUE	III
Novobra, Lda.	2.ª da capa
ROMAR	VIII
Soc. Electricidade Brown Boveri	IX
Sociedade Portuguesa Cavan . .	II
S. K. F., Lda.	I
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II

SKF

A SKF não tem apenas rolamentos de esferas e de rolos .

Temos também rolamentos de agulhas

rótulas e embutes .

Evidentemente, temos do mesmo modo toda a espécie de acessórios para rolamentos.

Além disso a SKF fabrica muitos outros produtos de qualidade.

Rodas e carretos cónicos, por exemplo

Fusos roscados de rolamento de alta precisão que transformam o movimento de rotação em linear.

Fabricamos também machos cassonetes

e brocas .

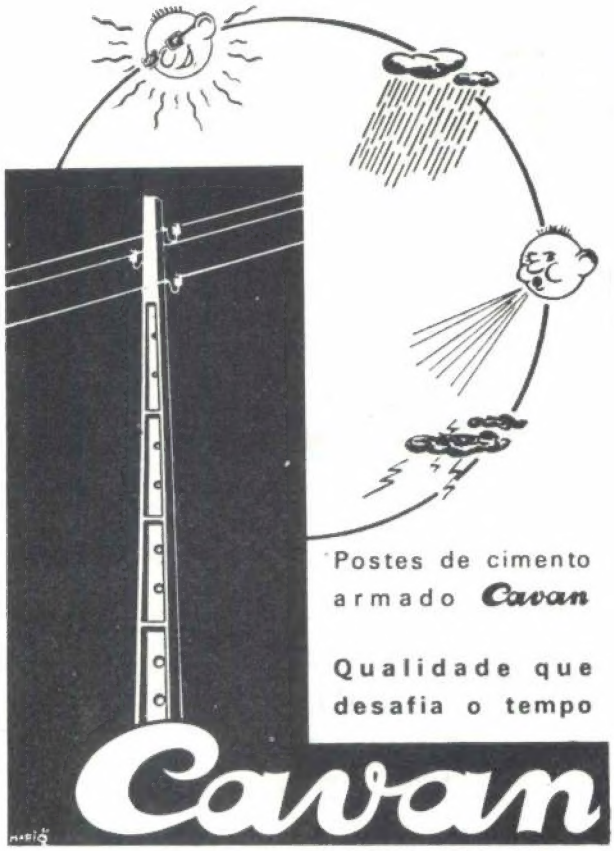
O mesmo se passa com pontos rotativos .

E muitos sabem que também temos um bom Serviço Técnico.

SOCIEDADE SKF LIMITADA

LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 - TELEGR.: ESKAEF



Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

FERRUNIL
CONSTRUÇÕES METÁLICAS INDUSTRIAIS, LDA

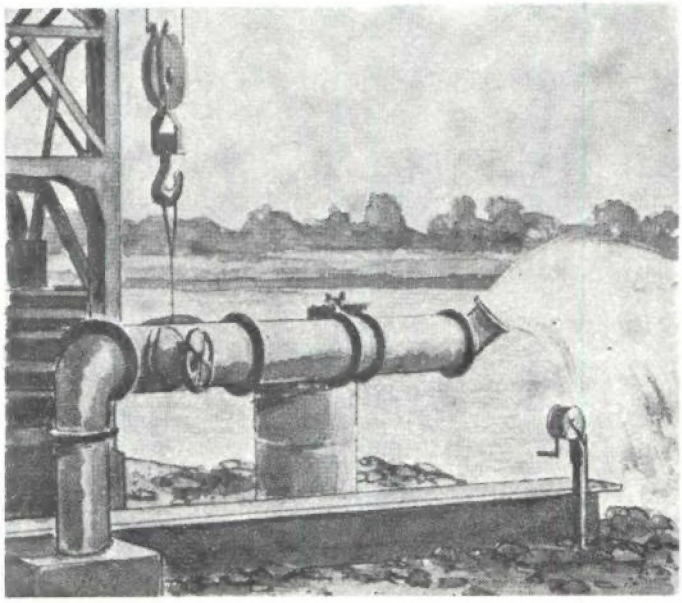
ESTRUTURAS - RESERVATÓRIOS
VIGAMENTOS - SILOS
PONTES ROLANTES
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

COBERTURAS PARA:
ARMAZÉNS
UNIDADES INDUSTRIAIS
HANGARES
PAVILHÕES DESPORTIVOS, ETC.

FÁBRICA:
Trajouce 244 0230
244 0256

ESCRITÓRIOS:
Av. Elias Garcia, 162, 2º E (L1) *77 77 96
*77 77 97
*77 75 29
LISBOA *77 26 35

Água: eis o que lhe oferecemos!



- Pesquisas e captações de água
- Estudos hidrogeológicos
- Sondagens e Fundações
- Rebaixamento de níveis aquíferos

ACAVACO

R. Rodrigo da Fonseca, 62, r.c.-Esq. - Lisboa-1
Tel. 56 11 71/2/3/4

técnica

NÚMERO 427 JUNHO DE 1975 ANO L VOLUME XXXVII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 546.31.9: 620.193: 66.046.37: 621.438

" High-temperature corrosion of nickel-base alloys in the gas turbine "

C. A. C. SEQUEIRA

ABSTRACT

A review of high temperature corrosion phenomena concerning components in the hot section of the gas turbine engine is presented.

RESUMO

Neste artigo, examinam-se os conhecimentos actualmente existentes sobre os fenómenos de corrosão das superfícies metálicas nas zonas quentes das turbinas de gás.

Alloys for high temperature application usually contain appreciable quantities of nickel: in particular, alloys based on the 80-20 nickel-chromium system have proved extremely successful because they can combine strength with good oxidation resistance at high temperatures. However, in gas turbine applications, where the atmospheres are conditioned by the products of combustion of the fuel used, oxidation resistance alone is insufficient, and the resistance of the alloys to carburisation, sulphur attack and corrosion by ash must also be considered.

In gas turbines used for aircraft applications, where highly refined fuels are used, corrosion, although still a problem, is usually secondary to stress considerations, but where turbines are used for marine and chemical plant or for production of cheap electrical power, it is often necessary for economic reasons to run on lower grade fuels, and these can introduce severe corrosion problems.

Thus, in studying corrosion under turbine conditions, the effects may be broadly divided into two categories, the first being the effect of the gaseous products of combustion, the second the effects of deposits. Sulphur present in the fuel and salt in the marine environment would lead to the formation of sodium sulphate. So it is sodium sulphate with or whithout sodium choride (or nitrate) which has been most extensively investigated. However, internal sulphidation called «green rot» which occurs in a carburizing environment, was reported by Hancock (1968) and Strocchi et al. (1969) while «black plague» corrosion found on high strength nickel-base turbine alloys was produced when a very dilute salt solution was injected into downstream air in minute quantities. Fuel quality does not cause «black plague» which is primarily metallurgical in origin, and is regarded as an oxidation phenomenon as Belcher et al. report (1967).

The object of the present paper is to review the behaviour of nickel-base materials in the presence of sodium sulphate (with or without sodium chloride), oxygen- and sulphur-containing gases, which are the contaminants most likely to be commonly encountered in gas turbine combustion environments.

GASEOUS CORROSION

Oxidation

For over fifty years, nickel-chromium and nickel-chromium-iron compositions with chromium contents of the order of 20 w/o have provided the basis for most of the high-strength alloys for high-temperature engineering, and it is therefore not surprising that there has been a great deal of work on the oxidation behaviour of these alloys. There is general agreement as to the corrosion products obtained by various workers in the field, but there is disagreement in assigning the rate

* This paper is based upon a thesis submitted by C.A.C. SEQUEIRA in partial fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy at the University of London.

controlling factor; in the case of Ni-Cr (and other Cr containing alloys the choice is between spinel and Cr_2O_3 formation.

In their discussion on Ni-Cr alloys Kubaschewski and Hopkins (1962) have indicated Cr_2O_3 as essential, but at what stage of the process this must be formed and whether it must be bound by NiO as a spinel requires further investigation.

Wood and co-workers (1966) found that in Fe-Cr and Ni-Cr alloys both breakaway oxidation and parabolic rate growth were observed at different times at 800--1200°C. In the oxidation of Ni-Cr alloys with higher Cr content a slowly growing Cr_2O_3 layer under an NiO layer of constant thickness is the normal protective factor. A stratified scale develops after failure of these initial NiO + Cr_2O_3 layers. This is mainly due to a sufficient oxygen solubility in the alloy to have formed Cr_2O_3 internally, which then offered protection when the outer scale cracked. Due to growth of the Cr_2O_3 layer in the outer scale there is a depletion of Cr at the alloy surface and metallic interdiffusion may not be rapid enough to allow a sufficient healing oxide layer (Cr_2O_3) to re-form after failure of the original scale; rapid corrosion could then result if it were not for the Cr_2O_3 internal oxide already mentioned. Fe-Cr alloys have a smaller oxygen solubility but larger interdiffusivity than Ni-Cr. The major protection was offered by a Cr_2O_3 layer and not by spinels.

Douglass (1968), and Douglass and Armijo (1970), in their studies on 90-Ni-Cr and 80 Ni-20 Cr respectively, state the spinel to be the protection conferring compound. 80Ni-20Cr at 900-1200°C showed reduced oxidation on addition of Si and Mn $NiCr_2O_4$ was found to grow 1000 times slower than Cr_2O_3. Spinel which forms as an internal layer next to the metal is protective but not when found as the outer layer. 90Ni-10Cr alloy oxidised differently above 900° than at 800°C. At 800°C, Cr_2O_3 was present as inner particles under a porous NiO film, while at higher temperatures it was a film beneath two NiO layers, the layer immediately above it being porous NiO with dissolved Cr, while the outer layer was columnar NiO. Cr_2O_3 prevented vacancy transfer across the metal oxide and severely restricted NiO plastic flow.

Giggins and Pettit (1969) have studied the oxidation of Ni-Cr alloys at temperatures in the range 800--1200°C. They distinguish three groups of Ni-Cr alloys: those containing less than approximately 10% Cr, those containing between 10% and 25% Cr, and those containing over 25% Cr.The dilute alloys oxidise according to a parabolic rate law. The scale consists of two layers: an outer compact layer of NiO and a porous inner layer composed of a mixture of NiO and $NiCr_2O_4$. In addition, there is internal oxidation in the metal with the formation of Cr_2O_3 particles. In the intermediate range the overall oxidation rate decreases rapidly with increasing chromium content. The rate law is parabolic only after long times, of the order of 20h at 1100°C. The oxide growth on the surface appears to be irregular: in some places a thin, apparently single-layered, oxide forms; in other places one finds a thick oxide, apparently consisting of three distinct layers. Eelectron microprobe and X-ray diffraction studies indicate that the thin oxide and the layer adjacent to the metal in the thicker oxida are essentially Cr_2O_3. The next layer is a mixture of NiO and $NiCr_2O_4$, and the oxide furthest from the metal is NiO. Chromium is depleted from the metal beneath the scale, but there is no internal oxidation. After long times, the Cr_2O_3 layer is continuous over the specimen surface and is of fairly uniform thickness and the parabolic oxidation rate is apparenlly controlled by diffusion through it. At short times, before the establishment of the parabolic rate law, the Cr_2O_3 layer is not continuous, and locally the chromium in the metal is internally oxidised, forming Cr_2O_3 particles in a chromium-depleted matrix. Apparently, the continuous layer of $Cr^{3}O^{3}$ develops in these regions, only after a significant amount of the alloy has been oxidised. The more concentrated alloys follow a parabolic rate law, the rate being independent of alloy content. The external scale is predominantly Cr_2O_3, with a small amount of $NiCr_2O_4$. In general there is no internal oxidation, but at long times some internal oxide particles may appear.

In general, protective oxidation involves the diffusional transport of one or more of the reactants through the oxide layer, and it is plainly desirable that an oxide with a slow transport rate should be formed. There is relatively little difference in the rate of transport of nickel through NiO, chromium through Cr_2O_3, and chromium through $NiCr_2O_4$: a factor of about five difference, with the first being most rapid. Nickel diffusion through $NiCr_2O_3$ is rather slower than chromium diffusion, but again the difference is not great. From this it might seem most desirable to form a spinel layer, but in fact a continuous protective spinel is not often observed, and it is doubtful if such a layer would be thermodynamically stable. In practice therefore it is more common to aim for a continuous Cr_2O_3 layer, and the slow rates of oxidation in the binaries correspond to the establishment of such a layer. However, Cr_2O_3 is removed by the formation of the volatile oxide CrO_3, and the rate of volatilisation may become significant especially in high velocity gas streams, since it is controlled by diffusion through a gaseous boundary layer (Graham and Davis 1971). From both the transport and the volatilisation points of view, it would be desirable to form an Al_2O_3 oxide. The transport of aluminium through Al_2O_3 is between two and three orders of magnitude slower than the transport of the metal ions in the spinels, and the oxidation/volatilisation is negligible at normal temperatures. For this reason there has been some investigation of Ni(Co)-Cr-Al ternary, notably by Kofstad (1970), Kosak (1969), Kosak and Rapp (1970), Wallwork and Hed (1971), and Giggins and Pettit (1970). Unfortunately, Al_2O_3 scales have relatively poor thermal shock resistance: whereas Cr_2O_3 scales are quite good, and are particularly adherent when the metal contains minor amounts of rare earths or oxide dispersions (Giggins and Pettit 1971, and Kubaschewski and Hopkins 1967). In practice therefore, since the blades and vanes are subjected to large numbers of severe thermal shocks in operation, improvements have to be made on the adhesion of the Al_2O_3 scales before the aluminium super alloys are adequately used as turbine rotor blade and stator vane materials.

Gaseous-Sulphur Attack

Some of the earlier work has been discussed by Hauffe (1965). His work on low chromium-Ni alloys shows a parabolic rate in S_2 atmospheres. The sulphidation kinetics is generally parabolic at the earlier stages and tends to become linear for longer runs. Porous layers form much faster and establish direct contact with S_2 for the reactions to proceed at a linear rate.

Physicochemical data on a few of the important metal sulphides have been compiled by Kubaschewski and von Goldbeck (1954). Sulphide scales have a much higher volume ratio than the oxides and are much less adherent and less stoichiometric. They form low melting eutectics which aggravate the corrosion. Ni and Ni--base alloys which are very satisfactory in oxidising atmospheres are attacked heavily because of the low melting nickel sulphides. The Ni-Ni_3S_2 eutectic melts at 645°C while Ni_3S_2 itself melts at about 810°C. A few other sulphides and eutectics, and their melting points are: Co-Co_4S_3 877°C, Co_4S_3 930°C, CoS about 1182°C, Cr-CrS 1350°C, CrS 1565°C, S-MnS 1580°C (monotectic), MnS about1610°C. As is evident, Ni forms a eutectic at the lowest temperature. Co and Cr alloys have been found to be more resistant but their strength and other mechanical characteristics are poorer than that of the Ni-base alloys.

The effect of various factors on the oxidation and mechanism are applicable, in general, to sulphidation. Attack on Ni-Cr and Fe-Cr alloys by S_2 (Mrowec et al. 1966, 1969), and Co-Cr, Ni-Cr and Fe-Cr by H_2S (Davin and Coutsouradis 1962) reveal the similarities to oxidation and also the much higher rates observed and metallographic evidence of the presence of a liquid phase. The distribution of higher and lower sulphides in corrosion in S_2 and H_2/H_2S atmospheres are as expected. However, there appears to be no complex compound formation. Hancock (1962) has shown the reduction of Ni_3S_2 by Cr in Ni-Cr alloy sulphidation. He found sulphidation weight gain measurements was erratic while weight loss data were reproducible. Corrosion in SO_2 atmospheres was less severe than in H_2/H_2S, but, products identified in in-service hot corrosion were detected in the samples corroded in SO_2 and not in H_2/H_2S.

Most of the refractory metals and alloys are attacked by SO_2/SO_3 although Al and Al alloys appear to be more resistan: probably due to the pre-existent Al_2O_3 film. Zirconium is heavily attacked, but some Ni-base alloys like Hastelloy show resistance to SO_3 corrosion. Of course the corrosive attack of SO_2/SO_3 can be as vigorous as that of S_2 or H_2S, depending on the temperature and other conditions of reaction.

Farber and Ehrenberg (1952) measured the change in resistance of metal filaments in H_2S, SO_2 and CO atmospheres. They found that H_2S proved more corrosive to Inconel, Fe, Cu and 18-8 steel, while W, Mo and Ta were the most resistant. Conversely, Inconel was very resistan: to SO^2 whereas W, Ta and Mo corroded easily.

Dry corrosion of Co-Cr, Ni-Cr and Fe-Cr alloys with 20 and 35% Cr in H_2S and SO_2 atmospheres was reported by Davin and Coutsouradis (1953). In H_2S corrosion the 80Ni-20Cr alloy developed an external layer of Ni_3S_2 and internal layer of CrS, and on longer exposure there was only one layer with CrS and the eutectic Ni-Ni_3S_2.

Pannetier and Davignon (1965) found an exothermic reaction of SO_2 at 420-450°C with finely divided Ni giving NiO and Ni_3S_2. The reverse reaction of NiO with Ni_3S_2 in presence of SO_2 at 789-862°C, however, was controlled by the slow conversion of Ni_3S_2 to NiO. Nio and 2NiO-SiO_2 did not react with pure SO_2 in the absence of C, as found by Pechkovski and Mal'tseva (1965). The phase composition of the sulphidation products was a function of the temperature and the S concentration during the reaction.

The system Ni-O-S was studied by Konev et al. (1968) using electrolytic Ni in SO_2 or $SO_2 + O_2$ at 500--1000°C. At 1000°C the Ni oxidation rate was the same in both $SO_2 + O_2$ and O_2 atmospheres. A decrease in corrosion rate at higher temperatures was attributed to a decrease of the sulphur solubility in Ni. The reverse reaction between Ni_3S_2 and NiO for the isothermal separation of S to obtain Ni was investigated by Chuchmarev et al. (1968). Very high temperatures (not specified) were necessary to obtain Ni and to suppress pSO_2. Konev et al. (1969, 1970) studied Ni corrosion at 700--800°C in CO_2-SO_2 atmospheres also, at various SO_2 pressures. They found that the twin layer NiO-Ni_3S_2 was thickest at 700°C and that the Ni weight gain per unit area decreases with temperature above 700°C. Alcock et al. (1969) studied the corrosion of Ni in $O_2 + SO_2$ atmospheres in the temperature range 500-750°C. They found that at a given temperature the rate of attack passed through a maximum value for SO_2-rich gas mixtures. The mechanism was usually of the parabolic diffusion-controlled type, but at the highest rates of attack the process had linear kinetics. The corrosion products were a mixture of nickel oxide and sulphide, and from the results of X-ray diffraction, microprobe analysis and marker studies it was concluded that this type of corrosion only occurs when the metal sulphate can be formed. The sulphate is subsequently reduced to a sulphide-oxide mixture.

The reactions involving synthetic gas mixtures of SO_2, O_2, SO_3, H_2S, and N_2 with an 85Ni-15Cr alloy at 870°C reported by Viswanathan and Spengler (1970) are more detailed than the work related earlier. These authors found that corrosion of the alloy was greatest in a 0,2% $SO_2 + N_2$ mixture; higher proportions of SO_2 and additions of as little as 0,01% O_2 to the 0,2% SO_2 resulted on very low corrosion rates. Attack on the metal for 6 hr. by 0,2% $SO_2 + N_2$ yielded a product which could be divided into six zones: — I Globular chromium sulphides in a Cr depleted matrix; II Chromium sulphide with dissolved 8-13% Ni; III Cr_2O_3; also chromium sulphide in a matrix of pure Ni; IV Chromium sulphide globules in a Ni matrix and a mixture of Cr_2O_3 and Ni_3S_2 in equal quantities; V Cr_2O_3 and VI $Ni_3S_2 + Cr_2O_3$ Cr_2O_3, and Ni. There was a thin outermost layer of Cr_2O_3. Corrosion under the same conditions for 30 hrs. gave almost identical reaction products except that zone IV was absent.

Viswanathan and Spengler (1970) suggest that although the stable phases are NiO, Cr_2O_3, and Cr_3S_4 and Ni_3S_2 is unstable in their prevailing conditions, it is possible that the pS_2 can be «pumped up» by the reaction

$$4/3\ Cr + SO_2 = 2/3\ Cr_2O_3 + 1/2\ S_2$$

and Ni_3S_2 can be formed by

$$4/3\ Cr + 3/2\ Ni + SO_2 = 2/3\ Cr_2O_3 + 1/2\ Ni_3S_2$$

The wide homogeneity range of composition over which Cr_3S_4 is stable accounts for the discrepancy in X-ray identification of the chromium sulphide as Cr_3S_4 and the chemical analysis which corresponds to Cr_2S_3. The authors suggest further, that a rapid short circuit diffusion along a preferred network gives rise to the network pattern of sulphides while bulk diffusion accounts for the globular sulphide formation.

It can be shown that there is a strong possibility of CrN and Cr_2N formation under the low SO_2-high N_2 mixtures used by Viswanathan and Spengler (1970) in their studies. Pettit et al. (1969) found Cr_2N stringers and layer forming below Cr_2O_3 where the low pressure of oxygen permits the formation of nitrides. The extensive grain boundary attack reported by Viswanathan and Spengler could be initiated by the formation of nitrides which open up fissures along grain boundaries. Internal sulphidation follows along the paths thus opened. None of these authors report marker experiments or visual observations of the corrosion.

Vasantasree (1971) has studied Ni, Ni-0.1 at.%Cr, Ni-1 at.%Cr, Ni-10 at.%Cr, Ni-20 at.%Cr, Ni-50 at.%Cr and Cr corrosion between 600° and 1000°C in flowing SO_2 and SO_2/O_2 mixtures at 1 atmosphere total pressure. Parabolic kinetics was usually followed but at 700°C for 0.1 to 20 at.% Cr-Ni alloys in $SO_2:O_2$ :: 2:1 the corrosion could be plotted satisfactorily with either a linear or parabolic rate (due to changes in rate) and, at 900°C a linear rate was followed for Ni and alloys of 0.1 and 1% Cr in pure SO_2. The maximum corrosion rate occurred for 0.1 and 1% Cr alloys at 700°C in $SO_2:O_2$ :: 2:1 ($kp = 4.5 \times 10^3$ mg.^{2}/cm.^{4} hr.). The lowest rates were for 20% Cr at 900° in $SO_2:O_2$ :: 12:1 ($kp = 5 \times 10^{-3}$), for 50% Cr at 600° in $SO_2 : O_2$ :: 1:9 ($kp = 1.5 \times 10^{-2}$) an for pure Cr 600° in SO_2 ($kp < 10^{-3}$). Erratic rates due to cracking occurred for 0.1, 1 and 10% Cr alloys and pure Cr.

Needles and globules grew on Ni, 0.1 and 1% Cr alloys at 900° in SO_2. Visual observations during corrosion showed blistering and cracking; a liquid phase ($Ni + Ni_3S_2$) was seen on 0.1 to 20% Cr-Ni alloys. The corrosion products (NiO, Cr_2O_3, Ni_3S_2 & CrS) were studied by optical microscopy, scanning electron microscopy, electron probe and X-ray analysis. At 700° to 800° there were two layers in the corrosion product: an outer compact layer of NiO containing Ni_3S_2 islands and an inner porous layer of Cr_2O_3 with CrS and Ni_3S_2 islands. The formation of Cr_2O_3 in the alloys of 10, 20 and 50% Cr impeded growth of the NiO, but this caused Cr depletion only in the 50% Cr alloy.

Marker studies indicated the outward diffusion of Cr^{3+} and Ni^{2+} ions. Ni_3S_2 is unstable in the gases but forms within the scale by the inward diffusion of sulphur ions:

$$7Ni + S_2 + 2O_2 = 4NiO + Ni_3S_2;\ K = 10^{41}\ (700°C)$$

Recently Wootton and Birks (1973) have investigated the attack of oxygen and sulphur on a range of Ni-Cr alloys containing 2-30% Cr at temperatures in the range 500-700°C in Ar-10% SO_2 atmospheres. Compared with pure Ni, he taddition of up to 5% Cr at 500°C, or 15% Cr 700°C, had little effect on kinetics. At higher Cr levels (8-10% at 500°C or 15-20% at 700°C) initial protective behaviour was followed by a period of rapid attack. Even with Cr contents as high as 30% the protection shown is not as in the absence of sulphur from the atmosphere. the The failure to form protective oxides was thought to be due primarily to the penetration of initially formed Cr_2O_3 scales by sulphur, possibly by solution and diffusion, leading to the formation of duplex (oxide + sulphide) scales wich grow rapidly by nickel ion migration.

DEPOSIT CORROSION

General

It has been known for many years that at high temperatures in the presence of salt heat-resisting alloys undergo rapid corrosion. This problem was greatly intensified in the 1950's by developments in jet engines and the applications of nuclear energy. The extremely high temperatures (800°C and above) encountered in jet engines and gas turbines necessitated the development of new alloys which have sufficient resistance to corrosion by the hot combustion gases as well as adequate mechanical properties at the high temperatures encountered. Alloys based on nickel and chromium are well known for their good resistance to oxidation at temperatures in the range 800-1200°C. With the demand for improvement in creep properties at elevated temperatures (~ 900°C). alloy compositions have been modified, in order to attain these properties. To date, this has been achieved by reducing the chromium content of the alloys, increasing the amounts of some of the elements already present, and introducing new elements. The alloy series — Inconel, Nimonic, Hastelloy and Malco and Disco are a result of this. Betteridge and Heslop (1974), and Sims and Hagel (1972) have discussed the Nimonic alloys in detail. Rather unexpectedly, these changes in composition have resulted in a susceptibility to a form of high temperature oxidation in which sulphur acts as a promoter and propagator. This new phenomenon, more severe than the normal sulphur attack and generally referred to in recent years as «hot corrosion» (Seybolt and Beltran 1967), has been encountered in gas turbines operating in marine environments. It is acknowledged that this form of attack is associated with the unfavourable operating environment.

Much research has been done on the chemical nature of the deposits and the mechanism of attack which results, but it is apparent from the diversity of opinions

held by various workers in the field that the phenomenon is not yet adequately understood (Jaffee and Stringer 1971). However, there is general agreement that the corrosion proceeds in three steps:

1 — Deposition of a molten sulphur-bearing slag on the surface of the superalloy engine components.

2 — Breakdown of the protective oxide film.

3 — Reaction between the sulphur from the deposit and the base alloy.

The mechanisms that have been postulated differ principally in the explanations for the processes occurring in stages 2 and 3.

The slag which promotes sulphidation corrosion in a marine gas turbine is formed by the reaction of sulphur in the fuel and sodium from the sea salt ingested through the intake air (DeCrescente and Bornstein 1968). Under the oxidising or de-electronising operating conditions, sulphur in the presence of a sodium salt such as sodium chloride (NaCl) is then capable of forming Na_2SO_4 via Na_2O and SO_2/SO_3. The ability of NaCl to form sodium monoxide (Na_2O) is well demonstrated by Quets and Dresher (1969). As it is known that sulphur dioxide is more effective in converting sodium chloride to sodium sulphate than sulphur trioxide (Fletcher and Gibson 1954), Birchenall (1968) suggested that the transformation NaCl to Na_2SO_4 involves the Hargreaves type of reaction which is the basis of an old process for the manufacture of sodium sulphate (salt-cake) (Martin 1922). The equations for the formation of Na_2SO_4 might then be

$$4NaCl + 2H_2O = 2Na_2O + 4HCl$$

$$2Na_2O + 2SO_3 = 2Na_2SO_4$$

$$O_2 + 2SO_2 = 2SO_3$$

or, combining these eqs.

$$4NaCl + 2SO_2 + O_2 + 2H_2O = 2Na_2SO_4 + 4HCl$$

As has been shown by DeCrescente and Bornstein (1968) this reaction, besides being thermodynamically favourable in the temperature range of interest, is quite rapid. Sodium sulphate produced by this means, together with that already present in the sea spray (Schirmer and Quigg 1967) can condense as a slag on the hot engine parts. This concept is supported by the detection of sodium sulphate on parts corroded in service (Simons et al. 1955).

NaCl itself is almost never found in the deposits, due to its high dew point, but this does not rule out the possibility that impacting NaCl particles onto the alloy surface may play a significant part in the corrosion process (Hanby and Beér 1970). Therefore, as discussed by Condé (1972), NaCl may be one of the principal agents responsible for Na_2SO_4 hot corrosion.

Alloy - Na_2SO_4 reaction

Reaction of a metal surface with its environment can occur only after the protective film is penetrated. In the case of the nickel-base superalloys this film is normally a mixture of Al-Ni-O and Cr-Ni-O phases composed chiefly of chromium and/or aluminium oxides (Cr_2O_3 and Al_2O_3) and in addition, a pure NiO type of oxide or a $NiCr_2O_4$ spinel oxide may form (Bergman 1967). Whether Al_2O_3, Cr_2O_3 or $NiCr_2O_4$ is responsible for protection is the subject of much controversy (see above) but it is widely believed that the major contribution comes from Cr_2O_3 (Jaffee and Stringer 1971, Viswanathan 1968, and Zima 1957). In the presence of a sodium sulphate slag the oxide film is penetrated, bringing into direct contact the metal surface and the molten salt.

The mechanism of film penetration is uncertain but several possibilities exist (Danek 1965, and Farrel et al. 1970). One explanation which has enjoyed wide acceptance suggests that the chromium oxide (Cr_2O_3) is dissolved by one or both of the following reactions:

$$Na_2SO_4 + Cr_2O_3 = Na_2Cr_2O_4 + SO_3$$

$$Na_2SO_4 + \frac{1}{2}\,Cr_2O_3 + \frac{3}{4}\,Cr_2O_3 = Na_2Cr_2O_4 + SO_3$$

The events which occur after film destruction are not well understood. Earlier studies (Bradbury et al. 1963, Hancock 1962, Lewis and Smith 1962, Shirley 1956, Simons et al. 1955, and Sykes and Shirley 1951) on this aspect have been mainly empirical, and only the experiments of Simons et al. (1955) represent a real approch to the problem. They suggest that once the protective oxide film is penetrated, sodium sulphate may be reduced, or electronated, according to the following equations:

$$Na_2SO_4 + 3R = Na_2O + 3RO + S$$

and

$$M + S = MS$$

and

$$Na_2SO_4 + 3MS = 4S + 3MO + Na_2O$$

where R is a electronising agent, and M, in the case of complex superalloys, is composed of several elements including chromium. Rentz (1966) suggests that NaCl acts as the reducing agent. Shirley (1956) and Sykes and Shirley (1951) also proposed that Na_2SO_4 had to be chloride-contaminated to promote rapid sulphidation attack. Waddams et al. (1959) proposed that Na_2SO_4 reacts with the base metal at cracks and pores where micro-electronising conditions may exist. More recent workers (Bergman 1967, Bornstein and Decrescente 1970, Goebel and Pettit 1970 a, Quets and Dresher 1969, Seybolt 1968, and Seybolt and Beltran 1967) report that neither the chloride ion nor externally introduced reducing conditions are prerequisites for hot corrosion. Bergman (1967), Seybolt (1968) and Seybolt and Beltran (1967) suggest that depletion of chromium in surface zones through the formation of oxides and sulphides reduces the corrosion resistance of Cr-depleted zones (nickel-rich zones), thereby promoting gross oxidation and/or sulphidation. Quets and Dresher (1969) suggest that in order for hot corrosion to occur there must be a simultaneous reaction between the nickel of the alloy and the oxide of one or more of the alloy ingredients, with sodium sulphate. The equations for the corrosion of a nickel-chromium alloy might then be:

$$Na_2SO_4 + 9/2Ni = Na_2O + 3NiO + 1/2Ni_3S_2$$

$$Na_2O + \frac{1}{2} Cr_2O_3 + \frac{3}{4} Na_2CrO_4$$

Bornstein and DeCrescente (1969,1970,1971) and Bornstein et al. (1972) show that the accelerated rates of oxidation associated with sulphidation attack are not related to preferential oxidation by sulphur in the alloy depleted zone and relate the rapid corrosion to the presence of oxide ions in the Na_2SO_4 melt.

The most reasonable models available at the moment for the Na_2SO_4 hot corrosion of nickel-base alloys are essentially those due to Goebel and Pettit (1970a) and Goebel et al. (1972, 1973). In order to make progress towards discovery of the mechanism of hot corrosion they constructed thermodynamic diagrams describing the stability and composition of pure Na_2SO_4 as well as the phases that may be formed during the exposure of nickel or aluminium to the sulphate environment. It was then necessary to consider reactions between oxides that are formed on the surfaces of alloys and Na_2SO_4, and in addition, reactions between the protective oxides and other components which are introduced into the modified Na_2SO_4 as a result of the oxide contaminant. Such studies indicated two types of hot corrosion.

The less severe type, referred to as Na_2SO_4-induced accelerated oxidation, runs along the following lines:

(i) An oxide layer is formed on the alloy surface, the oxygen required for its formation coming from dissociation of Na_2SO_4 (see below).

(ii) As a consequence of this, the sulphur activity at the oxide scale/Na_2SO_4 interface increases to a level at which metal sulphides can be formed in the alloy beneath the oxide scale, providing sulphur can migrate through the oxide..

(iii) Sulphide formation increases the oxide ion activity of the Na_2SO_4, eventually allowing the dissolution of the oxide as higher ions, for example AlO^-_4 in the case of aluminium.

(iv) Accelerated oxidation of the alloy occurs until the oxidation activity of the melt is no longer capable of fluxing the oxide scale.

This model that when the Na_2SO_4 comes into contact with nickel, the equilibrium oxygen pressure in Na_2SO_4 is sufficient to oxidise Ni to NiO. The oxygen consumed because of NiO formation will displace the following dissociation equilibrium reaction existing in sodium sulphate to the right:

$$SO_4^{2-} = O^{2-} + \frac{1}{2} S_2 + 3/2O_2$$

Thus the Na_2O and/or S activities rise at the NiO/Na_2SO_4 interface. This sulphur then migrates in through the NiO layer (Pettit et al. 1969) to the Ni-NiO interface where, due to the lower oxygen activities, nickel sulphide phases can be formed. Removal of sulphur from the sulphate increases the Na_2O activity of the Na_2SO_4 in the vicinity of the alloy surface. In this Na_2O-rich layer formation of nickelate (NiO_4^{2-}) ions following the reaction

$$NiO + O^{2-} = NiO_4^{2-}$$

is likely to take place. Since the oxide ion activity of the unmodified Na_2SO_4 is not sufficient for nickelate formation, Ni_2^{2-} decomposes as soon as it moves out into the Na_2SO_4. Consequently a porous nonprotective nickel oxide scale is formed, and accelerated oxidation proceeds.

For the other type of hot corrosion, referred to as Na_2SO_4-induced catastrophic oxidation, the following features are believed to be applicable:

(i) Oxide phases are developed on the alloy surface.

(ii) Specific oxides (for example MoO_3, WO_3 or V_2O_5) of the alloy scale form higher oxides by taking oxide ions from the Na_2SO_4, reducing its oxide ion content to a low enough level so that the protective oxide layer is thermodynamically unstable in the melt.

(iii) Consequently, decomposition by ionic dissolution into the melt occurs, thereby allowing the salt to come in contact with and react with the metal alloy substrate.

(iv) Rapid oxidation ensues, being self-sustained because the metal oxides responsible for this type of attack are continually formed in the Na_2SO_4 adjacent to the alloy surface.

Goebel et al. (1973) have schematically illustrated this model for a Ni-31Al-Mo alloy, as reproduced in Fig. 1, where the basic features above mentioned are well documented.

In summary, the essential point to be emphasized is the crucial role of Na_2O on the Na_2SO_4 hot corrosion of nickel-base alloys: if the oxide ion activity of the Na_2SO_4 increases to the point where oxide scales can partially dissolve in the melt, induced accelerated oxidation is to be expected; if the Na_2O activity of the melts is so small that they are efficient dissociative fluxes for oxide scales, catastrophic oxidation occurs. In addition, the formation of sulphides beneath the oxide scales in some alloys can cause the specimens to swell (Vasantasree 1971, and Wheatfall et al. 1967) which results in increased oxidation (Goebel and Pettit 1970b).

Effect of sodium chloride

The previous discussion has been confined to molten sodium sulphate as a cause for metal destruction in gas turbines. Sodium chloride was shown to be a source of sodium for reaction with fuel-sulphur to form Na_2SO_4. It is also possible that NaCl by itself could be responsible for corrosion by flue gas deposits. It is widely reported, as a result of laboratory studies, that mixed sulphate/ /chloride slags produce a higher corrosion rate than sulphate alone (El-Dahshan et al. 1972, Fontaine and Richards 1967, Greenert 1962, Lewis and Smith 1962, Quets and Dresher 1969, Shirley 1956, and Wheatfall et al. 1967). Although a condensate of Na_2SO_4 containing NaCl is unlikely to be formed above the dew point (the

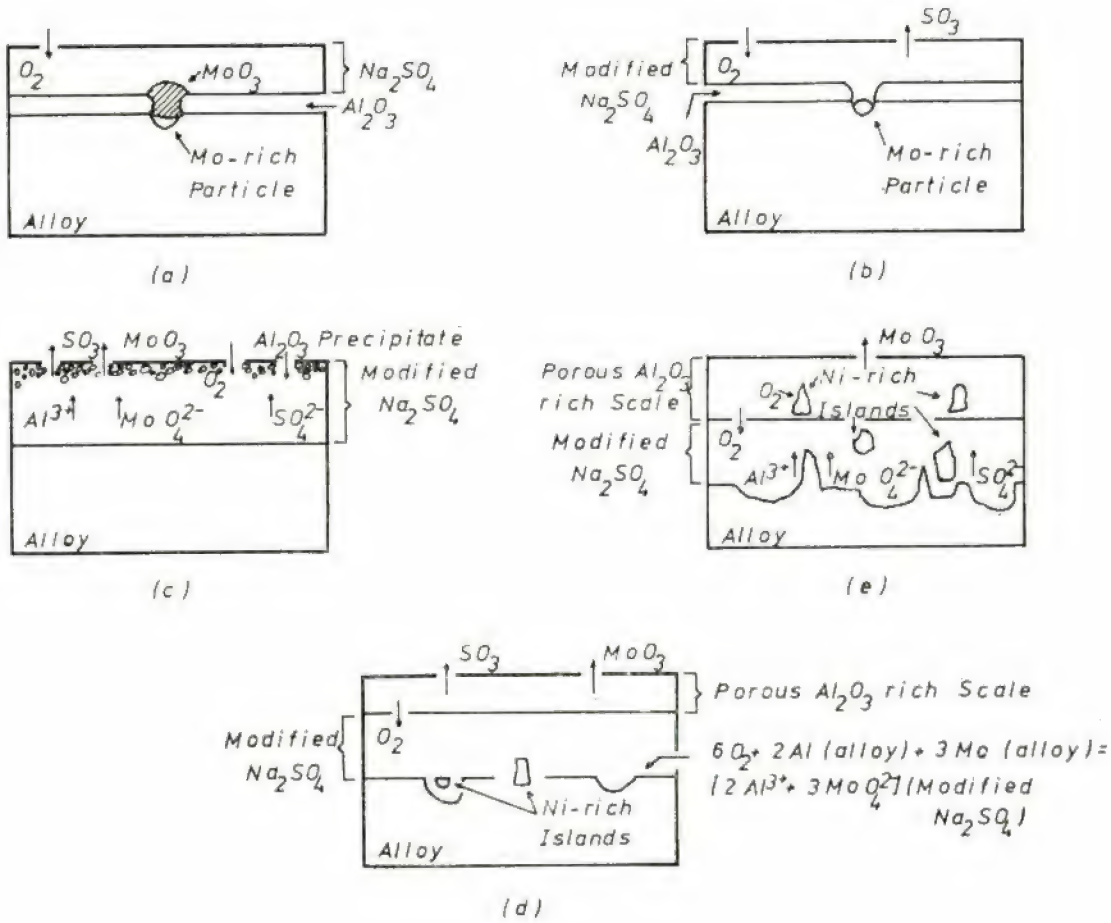


Fig. 1 Model for the Na_2SO_4-induced catastrophic oxidation of a Ni-31 Al-Mo alloy. (a) Oxygen moves from the gas through the Na_2SO_4 to the alloy surface where metal oxides are developed. (b) MoO_3 reacts with the Na_2SO_4 which decreases the oxide ion activity of Na_2SO_4. (c) The modified Na_2SO_4 layer reacts with the protective Al_2O_3 scale which results in its destruction. However, vaporisation of MoO_3 causes the Al_2O_3 to precipitate as a porous network at the Na_2SO_4/gas interface. (d) Rapid oxidation ensues and aluminium is preferentially removed from the alloy and the alloy/scale interface becomes irregular. (e) The nickel-rich islands developed because of preferential oxidation of aluminium are converted to NiO. The rapid oxidation is self-sustaining because MoO_3 is continually added to the Na_2SO_4 by oxidation of molybdenum in the alloy.

temperature at which salt species will condence on an inert solid surface) for NaCl (~ 730°C) (Bishop 1968) under normal situations, itsformation in the case of non-equilibrium conditions may occur (Bishop 1968, Farrel et al. 1970, and Hanby 1972). Corrosion by additive NaCl may be due in part to the formation of a low-melting-point mixture between these two sodium salts and also to the action of the choride in causing a breakdown of the film. The Na_2SO_4/NaCl phase diagram illustrating the influence of NaCl on the melting characteristics of the mixture was constructed by Danek (1965). He concludes that since a molten slag is required for sulphidation, the m. p. of the salt mixture and hence the NaCl content exerts a serious influence on turbine operating temperature and thus efficiency and fuel economy. In a recent paper, Halstead (1970) reviewed the general behaviour of oxides in the presence of sodium chloride. This review emphasizes that in gas turbines the nickel oxide/ /NaCl reaction may be better described by a general equation:

$$NiO + 2NaCl + SO_3 = NiCl_2 + Na_2SO_4$$

Since the $NiCl_2$ equilibrium pressure for the preceding reaction is significantly lower than the vapour pressure of $NiCl_2$ at temperatures of around 900°C, such a reaction could lead to a loss of nickel by vaporisation. This loss would lead to an appreciably less protective oxide film than one produced directly by de-electronation. Destruction of the protective chromium oxide film can also occur by the following reaction (Alexander 1963):

$$24NaCl + 10Cr_2O_3 + 9O_2 = 12Na_2CrO_4 + 8CrCl_3$$

The chloride may also have a catalytic effect on the following reaction:

$$Ni + SO_4^{2-} = NiO + S^{2-}$$

to cause the internal sulphur penetration observed. In an attempt to develop a picture of the role of choride in the corrosion caused by flue gases and their deposits, Cutler et al. (1971) carried out some studies and concluded that the chloride may be especially harmful in these cases in which the deposit environment fluctuates between electronising and de-electronising conditions because in these situations the alloy is never capable of building up a protective layer. Also Goebel et al. (1972) have considered that NaCl may possibly accelerate the Na_2SO_4-induced hot corrosion but its influence has not been examined.

Recently Sequeira (1974)) has studied the corrosion behaviour of nickel and Nimonic 105 in molten Na_2SO_4, NaCl, and mixtures of these two salts, at 900°C, in laboratory air and under $O_2 + SO_2/SO_3$ atmospheres. The following conclusions were drawn from his electrochemical results, which were further supported by topochemical examinations of the corroded samples:

1 — The electrokinetic behaviour of nickel electrodes in molten sodium sulphate at 900°C, in air, is characterized by three different regions. The first region corresponds to the onset of passivity and consists of the simultaneous nickel dissolution and passivation; the second is related to the dissolution of passive nickel; and the third corresponds to the local oxidation of passive nickel and sulphate discharge. The passive film on Ni is mainly NiO.

2 — The E/i curves for nickel in Na_2SO_4-NaCl melts, in air, in the range 0 to 80% NaCl, which are similar to the anodic polarization curve for Ni in pure Na_2SO_4, show that halide additions (especially those up to 25%) strongly affect the anodic behaviour of Ni in the active region and have pratically no effect on the passive region. These higher dissolution rates are represented by the equation

$$Ni_3S_2 + 4NaCl + \frac{1}{2} O_2 = 2NiCl_2 + 2Na_2S + NiO$$

which also suggested to be a critical factor in the Ni passivation. Careful analysis of the transpassive part of the polarization curves also showed that the overpassive dissolution current is smaller in Cl- melts than in SO_4^{2-} alone. This was further evidenced by particular experiments which have been concerned with determining the inhibiting role of NaCl on Ni in the passive--transpassive area.

3 — Further examination of the E/i curves for Ni in sulphate-chloride melts at 900°C lead to the conclusion that the rate determining step of nickel dissolution in the melts is mainly the diffusion process into the melt.

4 — The passive capability found for Ni in Na_2SO_4/ /NaCl melts, in air, is destroyed by SO_3 atmospheres. The high rates of corrosion observed at high partial pressures of SO_3 are shown to be mainly due to the effect of SO_3 on the solubility of the corrosion products.

5 — Nimonic 105 does not exhibit the active-passive transition characteristic of nickel in sulphate media. In the presence of pure Na_2SO_4 at 900°C, in air, the E/i curve is characterized by two different regions. The first region corresponds to the onset of passivity and dissolution of passive Nimonic; it is characterized by a small dissolution rate and is really an «active-passive» zone, as suggested by the physical appearance of the electrode surface polarized within its limits. The second region is a transpassive area and corresponds essentially to the sulphate discharge.

6 — Additions of NaCl, up to 15%, to the sulphate melt hardly affected the forward sweep for Nimonic 105 in pure Na_2SO_4, but severely affected the reverse one. This non-repair capability of reforming a passive corrosion layer is due to the Al and Cr depletion at the Nimonic surface by NaCl attack, which is observed at high anode potential values and may be explained by reactions of the form

$$2Cr_2O_3 + 5O_2 + 8NaCl \rightarrow 4Na_2CrO_4 + 4Cl_2$$

and

$$Al_2O_3 + \frac{1}{2} O_2 + 2NaCl \rightarrow 2NaAlO_2 + Cl_2$$

NaCl additions greater than 15% increased the c. d. recorded in the portion of the E/i curve representing the passive potential range, mixtures of around 15-35% NaCl being the most aggressive. It seems that the Cl^-

ions crack the Cr_2O_3 oxide layer, subsequently enabling reactions of the type:

$$Ni(Co) + SO_4^{2-} \rightarrow Ni^{2+} (Co^{2+}) + SO_2 + O^{2-}$$

$$Ni^{2+} (Co^{2+}) + 2Cl^- = Ni(Co)Cl_2$$

$$Ni(Co)Cl_2 + 2Cl^- \rightarrow Ni(Co)Cl_4^{2-}$$

and

$$9/2Ni + Na_2SO_4 \rightarrow Na_2O + 3NiO + 1/2Ni_2S_3$$

$$x/2Ni\,S_2 + Cr \rightarrow CrS_x + 3x/2Ni$$

to occur. Evidence for these reactions is substantiated by the topochemical studies.

7 — SO_3 pressures below 5×10^{-3} atm do not affect the electrokinetic behaviour of Nimonic 105; SO_3 pressures above 5×10^{-3} atm produce higher corrosion rates, which may be related to the acid fluxing of the sulphate melt either leading to ionic dissolution of the alloy scale constituents or favouring sulphur diffusion through the oxide scale, and consequently enhancing the sulphidation process.

8 — The high dissolution rates and the shape of the polarization curves for Ni and Nimonic 105 in pure NaCl at 900°C, in air, indicate that these materials are typically active in the NaCl electrolyte. Metal dissolution must occur at the expense of a simultaneous reduction of Na^+ ions to Na_2^+ subions, accompanied by the corrosion of the metal interacting with the dissolved oxygen and the chloride ions, as well as with the chlorine and oxide ions formed in the reaction of oxygen with chloride ions.

9 — The potential-decay curves for Ni in Na_2SO_4-NaCl melts show that thin passive film are very sensitive to Cl^- attack, but once a thick oxide film forms on the specimen, the Cl^- addition is accompanied by an increase in the film stability. Hence, there appears to be no simple correlation between the ease of achieving passivity (more likely in pure Na_2SO_4) and the stability of the passive film (enhanced in Cl^--melts).

10 — The potential-decay curves for Nimonic 105 in Na_2SO_4 and in Na_2SO_4-15% NaCl mixtures followed a similar pattern, showing absence of passivity breakdown.

11 — The E/i curves in C^--melts up to 15% NaCl as well as the film breakdown studies of passive Nimonic 105 suggested the feasibility of anodic protection of this material in the melts at 900°C over a wide passive range. This is, however, not realisable, as the free corrosion potential measurements indicate. The breakdown of the oxide film which occurs after some hours of immersion in the Cl^--melts suggests that a period of incubation is required for the halide ions to accelerate the sulphidation.

Actually there can be no doubt that chloride exists in those areas of the turbine where hot corrosion is found. The processes of condensation and/or impaction require further investigation but in general terms it must be assumed that chloride plays a crucial role in the mechanism of hot corrosion. Quite apart from providing a source of sodium for the formation of sodium sulphate it seems highly probable that the major role of chloride is in destroying the integrity of protective scale layers. Thermal cycling is a normal phenomenon in the gas turbine and thermal shock combined with chloride effects can be assumed to result in inhibition of the formation of protection layers. Although chloride must have a transient existence if deposited on nozzles or blades its intermittent or continuous replenishment may also provide secondary effects in promoting reduction in the melting point of deposited salts and also in increasing wetting properties (Menzies 1971). These effects may result in hot corrosion at lower temperatures and over more extensive areas of components. This combined with the volatility of deposits may control the lower and upper temperatures at which the sulphidation/accelerated oxidation effect is found.

DISCUSSION

A general survey has been made of a number of aspects of high-temperature corrosion in relation to combustion conditions in gas turbines. It is believed that attention has been directed to those features which are most likely to be commonly encountered. It is also obvious that no single material can be recommended as able to meet all the conditions at the gas turbine; any selection must be related as closely as possible to the precise service conditions and, wherever possible, to previous experience of a relevant nature.

All the types of corrosion which have been discussed have in common the ability to disrupt, often locally, the protective oxide films generated by simple oxidation at the surface of practically serviceable heat-resisting alloys. Extrapolation, to longer times, of data obtained before such breakdown is clearly a dangerous procedure, since once breakdown occurs the mechanism of corrosion is changed. The corrosion expert who is called upon to advise for ten or twenty years' operation is, in effect, forced to take a chance that immunity which he has observed during some short period offers sufficient probability of continued freedom from attack to warrant consideration of the material concerned. If, on the other hand, he sees it as his duty to present all the possibilities at their worst, the outlook will often be unduly pessimistic.

Clearly the choice of materials for particular applications or the development of new gas turbine superalloys with some degree of reliability must awayt more precise determination of the thermochemical data which are lacking, further elucidation of the part processes leading to sulphidation and accelerated oxidation and more detailed information on the environment and deposition processes within the gas turbine. In addition to sulphur, oxygen, sodium and chloride there are clearly other chemical species present in the environment which may play an important role and require further examination.

Acknowledgement — The author would like to thank Instituto de Alta Cultura (Lisboa) for the award of a grant, during the tenure of which this paper was written.

REFERENCES

Alexander P. A., 1963: «The Mechanism of Corrosion by Fuel Impurities», Butterworths, London, p. 571.

Alcock C. B., Hocking M. G. and Zador S., (1969): Corr. Sci., 9, 111.

Belcher P. R., Bird R. J. and Wilson R. W., (1967): «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines, ASTM STP 421, Am. Soc. Testing Mats., p. 123.

Bergman P. A., 1967: Corrosion-NACE, 23, 72.

Betteridge W. and Heslop J., 1974: «The Nimonic Alloys», Edward Arnold, London.

Bishop R. J., 1968: J. Inst. Fuel, 41, 51.

Bornstein N. S. and DeCrescente M. A., 1969: Trans. Met. Soc. AIME, 245, 1947.

Bornstein N. S. and DeCrescente M. A., 1970: Corrosion--NACE, 26, 209.

Bornstein N. S. and DeCrescente M. A., 1971: Met. Trans., 2, 2875.

Bornstein N. S., DeCrescente M. A. and Roth H. A., 1972: Conference, Central Electricity Generating Board, Sudbury House, London, Dec. 6, 7 (1972).

Bradbury E. J., Hancock P. and Lewis H., 1963: Metallurgia, 67, 3.

Chuchmarev S. K., Tikhonov and Smirnov V. I., (1968): Chem. Abs., 68, 81757f.

Condé J. F. G., 1972: «What Are the Separate and Interacting Roles of Sulphur, Sodium and Chloride in Hot Corrosion?», Specialist Meeting on High Temperature Corrosion of Aerospace Alloys, 34th Meeting of the Structures and Materiais Panel, AGARD, Lynby, Denmark.

Cutler A. J. B., Halstead W. D., Laxton J. W. and Stevens C. G., 1971: Trans. ASME, J. Eng. Power, 93, 307.

Danek Jr. G. J., 1965: Naval Engineers J., 77, 859.

Davin A. and Coutsouradis D., 1962: Cobalt, 17, 1.

Davin A. and Coutsouradis D., 1963: Corrosion Anticorrosion 11, No. 10, 347; Cobalt, 19, June (1963), 1.

DeCrescente M. A. and Bornstein N. S., 1968: Corrosion--NACE, 24, 127.

Douglass D. L., 1968: Corros. Sci., 8, 665.

Douglass D. L. and Armijo J. S., 1970: Oxid. Metals, 2, (2), 207.

El-Dahshan M. E., Stringer J. and Whittle D. P., 1972: Cobalt, 57, 182.

Farber M. and Ehrenberg D M., 1952: J. Electrochem. Soc., 99, 427.

Farrel R. M., Hayman C. and Dewey M. A. P., 1970: Colloquium, Admiralty Mats. Lab., Poole, Dorset, Sept. 22, 23 (1970).

Fletcher A. W. and Gibson E. J., 1954: Radio-isotope Conf., 2, 40, Butterworths.

Fontaine P. I. and Richards E. G., 1967: «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines», ASTM STP 421, Am. Soc. Testing Mats., p. 246.

Giggins G. S. and Pettit F. S., 1969: Trans. Met. Soc. AIME, 245, 2495.

Giggins G. S. and Pettit F. S., 1970: Commemorative Symposium on the Oxidation of Metals, Electrochemical Society Fall Meeting, Atlantic City, N. J., October.

Giggins G. S. and Pettit F. S., 1971: Met. Trans., 2, 1071.

Goebel J. A. and Pettit F. S., 1970a: Met. Trans., 1, 1943.

Goebel J. A. and Pettit F. S., 1970b: Met. Trans., 1, 3421.

Goebel J. A., Pettit F. S. and Goward G. W., 1972: Conference, Central Electricity Generating Board, Sudbury House, London, Dec. 6, 7 (1972).

Goebel J. A., Pettit F. S. and Goward G. W., 1973: Met. Trans., 4, 261.

Graham H. C. and Davis H. H., 1971: J. Am Ceram. Soc., 54, 89.

Greenert W. J., 1962: Corrosion-NACE, 18, 57t & 91t.

Halstead W. D., 1970: Colloquium, Admiralty Mats. Lab., Poole, Dorset, Sept. 22, 23 (1970).

Hanby V. I., 1972: «Salt Deposition in Marine Gas Turbines». Final Report, Dept. Chem. Eng. and Fuel Tech., Univ. of Sheffield, Feb. (1972).

Hanby V. I. and Beér J. M., 1970: Coloquium, Admiralty Mats. Lab. Poole, Dorset, Sept. 22, 23 (1970).

Hancock P., 1962: Proc. Ist Int. Congress on Metallic Corrosion, Butterworths, London, p. 193.

Hancock P., 1968: «Corrosion of Alloys at High Temperatures in Atmospheres Consisting of Fuel Combustion Products and Associated Impurities», H. M. S. O., London.

Hauffe K., 1965: «Oxidation of Metals», Plenum Press, New York.

Jaffee R. I. and Stringer J., 1971: High Temp.-High Pressures, 3, 121.

Konev V. N., Adrianovski B. P. and Gorbunov V. S., 1968: Chem Abs., 68 32648 n (Russian 1965).

Konev V. N., Borgantsoef A. M. and Suntsov N. V., 1969: Zashchita Metallov., 5, (6), 677.

Konev V. N., Chebotin V. N., Suntsov N. V. and Stavtseva L. I., 1970: Zaschita Metallov., 6, (4), 448.

Kosak R., 1969: Ph D. Thesis, Ohio State University.

Kosak R. and Rapp R. A., 1970: Commemorative Symposium on the Oxidation of Metals, Electrochemical Society Fall Meeting, Atlantic City, N. J., October.

Kubaschewski O. and Von Goldbeck O., 1954: Metalloberfläche, (A), 8, 33.

Kubaschewski O. & Hopkins B. E., 1962: «Oxidation of Metals & Alloys», Butterworths, London.

Kubaschewski O. and Hopkins B. E., 1967: «Oxidation of Metals and Alloys», 2nd ed., Butterworths, London.

Kvernes I. and Kofstad, 1970: Final Report on Contract F61052-67-C0057, European Office of Aerospace Research, OAR-USAF, January 31.

Lewis H. and Smith R. A., 1962: Proc. Ist Int. Congress on Metallic Corrosion, Butterworths, p. 202.

Martin G., 1922: «Industrial and Manufacturing Chemistry; Part II, Inorganic», 1, 284. Crosby Lockwood, London.

Menzies I. A., 1971: Unpublished work, Loughborough University.

Mrowec S., Werber T. and Zastawnik M., 1966: Corr. Sci., 6, 47.

Mrowec S., Walec T. and Werber T., 1969: Oxid. Metals, 1, No. 1, 93.

Pannetier G. and Davignon L., 1965: Bull. Soc. Chim. France; Chem. Abs., 62, 2498 g. h..

Pechkovski V. V. and Maltseva T. G., 1965: Chem. Abs., 63, 7885h.

Pettit F. S., Goebel J. A. and Goward G. W., 1969: Corrosion Sci., 9, 903.

Quets J. M. and Dresher W. H., 1969: J. Materials, JMLSA, 4, 583.

Rentz W., 1966: Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute (quoted by Donachie Jr. M. J. et al., 1967 in «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines», ASTM STP 421, p. 85).

Schirmer R. M. and Quigg H. T., 1967: «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines», ASTM STP 421, Am. Soc. Testing Mats., p. 270.

Sequeira C. A. C., 1974: Ph. D. Thesis, University of London.

Seybolt A. U., 1968: Trans. Met. Soc. AIME, 242, 1955.

Seybolt A. U. and Beltran A., 1967: «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines», ASTM STP 421, Am. Soc. Testing Mats., p. 21.

Shirley H. T., 1956: J. Iron and Steel Inst., 182, 144.

Simons E. L., Browning G. V. and Liebhafsky H. A., 1955: Corrosion-NACE, 11, 505t.

Sims C. T. and Hagel W. C., 1972: «The Superalloys», Willey, London.

Strocchi P. M., Vicentini B. and Mosca V., 1969: Electrochim. Met., 4, 339

Sykes C. and Shirley H. T., 1951: Special Report, The Iron and Steel Institute, London; Symp. High-Temp. Steels and Alloys for Gas Turbines.

Vasantasrree V., 1971: Ph D. Thesis, University of London.

Viswanathan R., 1968: Corrosion-NACE, 24, 359.

Viswanathan R. and Spengler C. J., 1970: Corrosion (Houston), 26 (1), 29.

Waddams J. A., Wright J. C. and Gray P. S., 1969: J. Inst. Fuel, 32, 246.

Wallwork G. R., 1970: 2nd International Conference on Strengthening of Alloys, Asilomar, California.

Wallwork G. R. and Hed A. Z., 1971: J. Oxidation of Metals, 3, 229.

Wheatfall W. L., Doering H. and Danek Jr. G. J., 1967: «Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines», ASTM STP 421, Am. Soc. Testing Mats., p. 206.

Wood G. C., Hodgkeiss T and Whittle D. P. 1966: Corros. Sci., 6, 129.

Wootton M. R. and Birks N., 1975: Corros. Science, 15, 1.

Zima G., 1957: Trans. ASM, 49, 924.

Feiras, Conferências, Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÕES
4.ª Jornadas Luso-Brasileiras de Eng.ª Civil	Recife e Salvador (Brasil) 3 a 17 Agosto - 75
FACIM Feira Internacional de Lourenço Marques	Lourenço Marques 30 de Agosto a 14 de Setembro - 75
Feira Internacional de Esmirna	Esmirna - Turquia 20 de Agosto a 20 de Setembro - 75
La Foire Internacionale Pour la Protection des Eaux	Jönköping - Suède 1 a 4 de Setembro - 75
1.ª Internacional Conference on External ano Internal Protection of Pipes	Kingston - Upon - Hull (Inglaterra) 8 a 10 Setembro - 75
Sixth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering	Durban 8 a 12 de Setembro - 75
Feira Internacional da Técnica	Helsinquia 9 a 13 de Setembro - 75
Salon de L'éctronique Industrielle e de L'industrie électrotéchnique	Bâle - Suíça 9 a 13 de Setembro - 75 INELTEC
INTERNATIONAL WATER Conservancy Exhibition	Jönköping Sweden 1 a 5 Setembro - 75
And Int. Conference on Applications of Statistics and Probability to soil and Structural Engineering	Aachen (Alemanha Ocidental) 15 a 19 de Setembro - 75
4.º European Symposium on Corrosion Inhibitors	Ferrara - (ITÁLIA) 15 a 19 de Setembro - 75
SURFACE Salão Internacional para Tratamentos de Superfícies	Basileia 30 de Setembro a 4 de Outubro - 75

MAGUE

«Montagem dos painéis tubulares da câmara de combustão do Gerador de Vapor da Central Térmica do Carregado (5.° escalão).»

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*

TURBINAS HIDRÁULICAS — *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*

TURBINAS A VAPOR — *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*

CALDEIRAS A VAPOR — *Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*

EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS MAGUE S.A.R.L

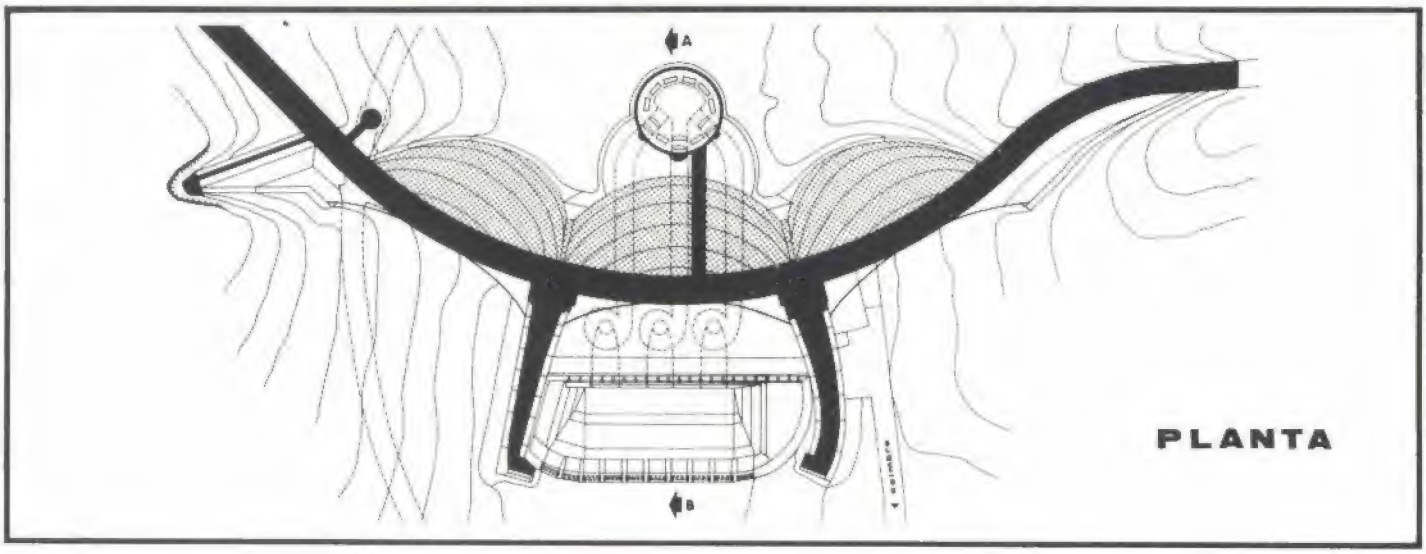
ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

BARRAGEM DA AGUEIRA

COMPANHIA PORTUGUESA DE ELECTRICIDADE

Construções Técnicas ergue no Mondego, esta barragem de abóbodas múltiplas, com 80 metros de altura e 350 metros de comprimento, que inundará uma área de 2 000 hectares.

Serão executados 350 000 m³ de escavações, utilizados 450 000 m³ de betão e 10 000 toneladas de aço.



uma empresa a responder às necessidades do País

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, S.A.R.L.

AV. 24 JULHO, 24 • TEL. 690172 - 691302 - 690163 • LISBOA - 2

MIRA CT 3

C. D. U. 007

Memorando sobre a inteligencia artificial

HELDER COELHO
L. N. E. C.*, Divisão de Informática, G. A. I. A.

RESUMO

O texto seguinte abordará de modo sucinto, e por vezes incompleto, a história, o corpo e algumas aplicações da Inteligência Artificial. Sugere-se um projecto de investigação para ser realizado no L. N. E. C., fornecem-se referenciais para motivar os interessados.

ABSTRACT

This paper is an iscomplete and necessairy overview of Artificial Intelligence. It discusses the history, the body and some applications, and also it suggests a researche project to carry out at L. N. E. C.. Somme references are given to support motivation.

PREAMBULO

O texto que agora se publica é datado de Agosto de 1974 e foi escrito sem o conhecimento da excelente comunicação de Nils Nilsson(1).

Em primeiro lugar obedeceu à necessidade de clarificar parte do significado de «intelência artificial» (I. A.), campo científico esotérico à primeira visita, e muito pouco divulgado em Portugal(2). Em segundo lugar, dirigiu-se para os trabalhadores científicos do L. N. E. C., visto que na sua Divisão de Informática, existirá um *grupo para aplicações da inteligência artificial* (G. A. I. A.).

Considerou o autor que a divulgação deste texto na Técnica tornará mais fácil a leitura de futuros artigos, sobre I. A., e poderá motivar os «curiosos» a prosseguir além das leituras.

I — INTRODUÇÃO

1. À medida que um corpo de conhecimentos vai sendo alargado e esmiuçado, os seus *trabalhadores* são tentados a perder a *essência* do processo do conhecimento/questão: qual a relação dos seus discursos com o objecto do conhecimento trabalhado?/e a lançarem-se numa aventura sobredeterminada pelo particular. Poderíamos dizer, por outras palavras, que esse corpo não tem *memória* o que, no tempo, vai esquecendo as peripécias que caracterizaram o seu nascimento.

   Este aspecto relevante, comum à maior parte das ciências, é consolidado pela natureza paradigmática(3) dos seus trabalhadores e pela sua concepção idealista/empirista/do mundo, caracterizada pelo investimento do conhecimento no real, com ausencia de qualquer interrogação sobre as suas relações, nomeadamente entre as partes distintas do seu objecto.

2. A *inteligência artificial* (I. A.), que *estuda a inteligência como computação* (segundo Pat Hayes; consultar as definições de inteligência, na pág. 5), é também um corpo sem *memória*, pois ao longo destes últimos quinze anos tem deixado de lado indícios de exploração,em proveito da descoberta de novas técnicas/táticas/, destinadas a mudar as respostas aos seus problemas. Assim, a sua prática tem obedecido a uma concepção empirista do conhecimento e tem sido insuficientemente

* Morada actual: Departament of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, 8 Hope Park Square, Meadow lane, Edinburgh EH8 9NW, Scotland.

(1) Nilsson, N. — «Artificial Intelligence», in Information Processing 74 — North Holland Publisling company (1974), 778-801

(2) Vejam-se os artigos publicados no jornal «República» em:
20.2.73 — «Diálogo com um programa inteligente» (L. Pereira);
10.7.73 — «Océrebro como metáfora» (L. Pereira);
28.8.73 — «As supermáquinas «alguns aspectos da I. A.» H. Coelho);
4.9.73 — «Teoria e prática da aprendizagem» (H. Coelho);
25.9.73 — «Encontro com um pioneiro da cibernética: Gordon Pask», (L. Pereira e H. Coelho);
30.10.73 — «A procura do como na resolução de um problema: a construção automática de um sistema» (H. Coelho).

(3) Ao longo deste texto a palavra *paradigma* terá a seguinte conotação: «estrutura de raciocínio».

cibernética/reveladora da não compartimentação do conhecimento/. Por outro lado, o seu desenvolvimento, na última década, tem sido reprimido duplamente:

(1) pelos seus trabalhadores: limitações paradigmáticas, que determinam os modelos da I. A.;

(2) pelos trabalhadores das ciências penetradas pela I. A., e nomeadamente quando assumem o poder em instituições (para) científicas.

3. *Estudar* I. A. implica conhecer o objecto inicial, o processo histórico da produção dos seus conhecimentos, encontrar as questões postas no tempo /seu abandono ou (múltiplas) respostas/ e analisar criticamente a sua prática/quais as suas aplicações/.

Saber o que é a I. A. e para que serve, converge para o objecto do seu estudo, e deste modo estas duas «*intenções*» marcam a necessidade deste texto, o qual procurará responder às questões mais pertinentes dos que já/ou não/ouviram falar da I. A. e estão, curiosamente, dispostos a ler.

4. O texto seguinte abordará de modo sucinto, e por vezes incompleto([1]), a história, o corpo/ramos e áreas de investigação/ e algumas *aplicações* da I. A.([5]).

Por este meio, procurar-se-á fornecer *informação*/referências bibliográficas e outros apêndices/destinada a clarificar o que poderá ser o trabalho em I. A. no LNEC e as futuras aplicações, nomeadamente:

a) *planeamento de espaços* em arquitectura e urbanismo;

b) desenvolvimento de *linguagens formais* para comunicação entre o homem e a máquina;

c) *optimização* do resultado de *problemas complexos*, através da cooperação interactiva entre homem e computador;

d) *automatização de projectos.*

II — A HISTÓRIA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Existe ainda grande controvérsia sobre as origens /corpos que o fecundaram; data de início/deste corpo do conhecimento, o que não é mais que uma consequência das opiniões que existem sobre as linhas que têm orientado a *evolução* e a *produção* de novos conhecimentos.

De qualquer forma, todo o trabalho em I. A. esteve sempre fortemente associado com o desenvolvimento da *ciência dos computadores*, e em especial com as *novas linguagens de programação*. Esta ligação serve-nos de *indicador* para marcarmos etapas importantes do processo histórico, e para distinguirmos o aparecimento de novas orientações ou o retomar de velhas explorações([6]).

De modo esquemático, apontam-se os seguintes períodos:

1950-1955 — aparecimento de um aparelho e base experimental: o computador digital;

1955-1962 — individualização progressiva da I. A. de outros corpos do conhecimento;

1962- — desenvolvimento e consolidação da I. A.; controvérsia sobre as vias de investigação mais fecundas. Este período, não acabado, é deveras «crítico» e um estudo deveria ser feito para que a sua compreensão nos ajudasse a escolher melhor as vias futuras de investigação.

A — Período 1950 - 1955

Neste período reside uma parte da controvérsia que assinalámos, a qual se deve à pretensão de incluir na I. A. os trabalhos de Turing sobre *inteligência* de máquinas:

1947 — «Intelligent Machinery»

1950 — «Computing machinery and Intelligence»

Contudo, estes artigos possuiram outra intenção /chamar a atenção da comunidade científica para o poder dos computadores digitais/e circunscreveram-se no aparecimento do primeiro computador digital geral, em 1950.

Até *1955*, a *cibernética*/no sentido estruturado por Wiener/encontrou o suporte experimental para formular os princípios básicos de comportamento e aprendizagem, e tornou-se então possível individualizar três orientações principais:

(1) Sistemas *auto-organizáveis:* continuação da procura de princípios básicos;

(2) *Simulação do pensamento humano:* modelos do comportamento humano;

(3) *Inteligência Artificial*, como tentativa para programar máquinas inteligentes, por vezes comandando robots, as quais actuam sobre a realidade física.

([4]) Consequência inevitável de tentar apresentar e descrever as actividades de um campo em formação e «arrumação».

([5]) O nome dado a este campo dá usualmente origem a interpretações erradas. Seria preferível tê-lo designado por *Inteligência Geral*, porque de facto o que se pretende realizar são processos inteligentes, *intelectuais*, independentemente do tipo de processador, quer seja cérebro, feito de protoplasma, quer seja uma máquina, um agregado social ou qualquer «coisa», como por exemplo um sistema físico nunca concebido até hoje como local apropriado de computação (Gordon Pask, 1973).

([6]) Este ponto de vista é controverso, mas a década de 60 é um exemplo típico deste tipo de desenvolvimento: ciência versus tecnologia.

Os trabalhos iniciais da I. A. / a sua *pré-história* / localizaram-se no M. I. T., à volta de 1955, e foram essencialmente constituídos por *programas heurísticos* * (7) para computador.

B — Período 1955 - 1962

A ideia central, do período pré-1962, foi a de encontrar *dispositivos* / por exemplo: programas / *heurísticos*, cujos rendimentos eram baseados na incorporação de métodos heurísticos, capazes de melhorar a eficiência dos sistemas de resolução de problemas ou o domínio de competência. Este domínio estava compreendido entre os truques ad hoc, para tipos particulares de problemas, e os princípios gerais de administração eficiente. Os dispositivos heurísticos eram utilizados para controlar o espraiamento de uma procura do tipo «tentativa e erro».

A segunda preocupação consistiu em procurar técnicas efectivas para a *aprendizagem*.

Até ao fim de 1961 um número de programas heurísticos podia resolver problemas / combinatórios /, trabalhosos em certas áreas particulares. Por exemplo, existia um programa muito bom para o jogo das damas e alguns programas bons para a *demonstração de teoremas em geometria* plana euclidiana, trignometria e lógica. Outros programas exibiam várias formas simples de aprendizagem. No entanto, não existiam programas capazes de jogar xadrez, tratar a linguagem natural ou de desenvolver conceitos de nível mais alto. Em todos os casos, os programas só conseguiam dominar bandas estreitas / quer no formato, quer no conteúdo / do espaço de procura dos problemas que podiam resolver, isto é, eram incapazes de os resolver completamente.

C — Período 1962

1. O ano *1962* marca o início de uma evolução mais rápida das tecnologias ligadas à electrónica, possibilitando o florescimento da indústria dos computadores e o aparecimento das suas várias gerações. Tal, fez aumentar o *interesse* pela I. A., à qual a *ciência dos computadores* irá buscar as suas melhores ideias para ecelerar o seu desenvolvimento e utilização.

Neste período, a I. A. preocupou-se menos com *aprendizagem* e mais com a *representação do conhecimento*, e em vencer o formalismo e estreiteza dos velhos sistemas de apredizagem. A eficiência da *procura heurística* permanece como impotência, já não pensada, e é abandonada momentaneamente através da imersão em subproblemas mais sofisticados: *representação* e *modificação de planos*. Muitos problemas podiam ser então resolvidos, através da exploração de todas as sequências possíveis das acções existentes. Por exemplo, podiam-se considerar todas as jogadas legais em xadrez ou todas as sequências das inferências lógicas para provar teoremas em lógica. No entanto, na *prática*, estes *métodos de procura* exaustiva não podiam ser utilizados para resolver problemas difíceis, por causa do elevado número de *combinações* que deviam ser consideradas. Desenvolveu-se então uma variedade de *técnicas* para substituir os métodos / estratégias / de procura «às cegas».

2. Em *1963*, Marvin Minsky achou conveniente dividir os problemas da I. A. em *5 áreas principais:*

(1.ª) — procura / por exemplo: de metas/

(2.ª) — reconhecimento de formas/configurações/

(3.ª) — aprendizagem

(4.ª) — planeamento

(5.ª) — indução.

Para Minsky, o computador podia, de certo modo, fazer o que lhe pediam. Assim não se sabendo exactamente *como* resolver um problema, devia-se programar a máquina para *procurar* no espaço das soluções possíveis. Infelizmente, quando se escrevia um programa para uma tal *procura*, obtinha-se usualmente um processo ineficiente.

Com as técnicas do *reconhecimento de formas*, a *eficiência* podia ser melhorada; a máquina a utilizar limitava os seus métodos ao tipo de tentativas para os quais eram apropriadas. E com a *aprendizagem*, a eficiência era melhorada, dirigindo-se a procura, de acordo com *experiências anteriores*. Analisando a situação e utilizando *métodos de planeamento*, Minsky considerava que o computador podia ampliar a procura, originalmente caracterizada por uma exploração menor e menos apropriada.

Ainda em 1963, e de acordo com Feigenbaum e Feldman *o objectivo da I. A.* era *construir programas* que exibissem *comportamentos «inteligentes»*, tais como os que encontramos em seres humanos.

Para que um programa se comportasse inteligentemente, devia procurar de modo altamente selectivo, explorando os caminhos relativamente férteis em soluções, e ignorando os caminhos estéreis. A *heurística* era a estratégia que limitava drasticamente a procura de soluções nos grandes espaços dos problemas.

Para Feigenbaum e Feldman[4] os *problemas não resolvidos da I. A.* eram (em 1963):

1.º) — a aprendizagem de heurísticas;
questão: *como* podem os computadores/e *como* fazem as «pessoas» aprender novos métodos e regras heurísticas?;

(2.º) — inferência indutiva: formação de hipóteses por uma máquina;

(3.º) — compreensão da linguagem natural: programas para responder a perguntas.

Nesta época, a I. A. ligava-se às áreas da ciência *de informação:* tradução mecânica, recuperação de informação e modelos da memória associativa humana.

Ainda em 1963, iniciou-se o trabalho em *robótica*, o qual é presentemente um dos ramos mais férteis da

(7) Incorporam métodos *heurísticos* / que servem para descobrir / que melhoram a eficiência e a capacidade dos sistemas. Estes programas constituem, ainda, objecto de larga investigação.

I. A.. Por «*robot*» entende-se um mecanismo, controlado por um computador, capaz de interactuar com o mundo real, num modo autónomo e «inteligente»/um *robot* deve ser capaz de descobrir coisas sobre o meio envolvente, coleccionando informação com os seus sensores, de apresentar soluções para os problemas relacionados com acções mecânicas e de realizar estas soluções, através do motores/.

3. Em *1965*, com o *principio de resolução* de J. A. Robinson[5], aumentou o interesse pela *demonstração automática de Teoremas*, sugerida em 1930 por Herbrand / o seu método era impraticável até ao aparecimento do computador digital /. Desde então, esta área nunca mais deixou de desenvolver-se[6].

4. Em *1968*, Minsky[7] chamou a atenção para a:

(1) — generalidade

(2) — aprendizagem

(3) — conhecimento

sugerindo um trabalho sobre sintaxe, semantica, gramáticas, linguagens e estruturas.

Até 1968 vários tipos de problemas eram resolvidos por programas, que incluiam resolução de ambiguidades no significado de palavras, descoberta de analogias entre inferências lógicas e não lógicas, resolução de inconsistência em informação, empenhamento de um discurso coerente com uma pessoa e construção de modelos internos para representar informação readquirida. Estes programas eram muito limitados no domínio de situações que podiam satisfazer. Trabalhavam, edificando objectivos, tentando adaptar informação em padrões previamente adquiridos, formando e testando hipóteses e frequentemente utilizando os significados das exposições que tinham sido feitas para elas.

Para Minsky, em 1968, a *I. A. era* a ciência que permitia construir máquinas para fazerem coisas, que requeririam *inteligência*, se feitas pelo homem.

E para Newell[5], psicólogo interessado pela I. A., esta achava-se mergulhada num todo, denominado *sistemas cibernéticos*(*), esquematizado na figura seguinte:

Raphael[9] iniciou a defesa da robótica, discutindo o ponto de vista de Feigenbaum, retomando em 1972 por Lighthill:[10] «O trabalho com «robots» não tem futuro e qualquer valor, para as outras áreas da I. A.». Ora, em 1968 a robótica estendeu-se aos U. S. A. (principais centros: M. I. T. e Stanford) e ao Japão. Desde então, e contrariando a visão incorrecta de Lighthill, afirmou-se a sua vantagem sobre outras áreas, através da clareza absoluta da definção sobre as tarefas no meio envolvente /o «robot» tratando directamente com o mundo físico, coloca na sua perspectiva as funções das representações da informação, as linguagens de programação, as configurações computacionais, etc

5. Um ano mais tarde, Banerji,[11] *expande a definição* de Minsky, apontando para a *realização dessas «coisas»* com *eficiência* e *velocidade*, quando comparadas a um ser humano.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Banerji, estudando a literatura da I. A., verificou que as várias tentativas, para escrever programas *eficientes* que encontrem soluções para grandes *problemas combinatórios*, mostravam aspectos comuns nos modos de aproximação e nas técnicas. Esboços semiformais haviam já sido feitos para codificar estas *teoria da resolução de problemas*.

6. *Até 1969*, as *linhas de desenvolvimento* da I.A. foram esquematizadas sumariamente por John McCarthy e Pat Hayes,[12] como se indica na Fig. 1, os quais propuseram uma *outra via de trabalho*, apontada na Fig. 2.

Estes 2 trabalhadores ensaiaram outra *definição de inteligência*, numa tentativa para especificar os objectivos da I. A.: «uma entidade é *inteligente, se* tem um modelo adequado do mundo (incluindo o mundo intelectual dos matemáticos, compreensão dos seus objectivos e outros processos mentais), *se* é suficientemente esperta, isto é, inteligente, para responder a uma grande variedade de questões com base neste modelo, *se* pode obter informação adicional do mundo externo, quando necessária, e se pode executar tarefas correspondentes aos seus objectivos e capacidades físicas, no mundo externo».

De acordo com esta definição, a *inteligência* tinha 2 partes:

— *a parte epistemológica:* representação do mundo, numa tal forma, que a solução de problemas aparece a partir dos factos expressos na representação; *via da Física*.

(*) Sistemas cibernéticos (sistemas de processamento de informação; sistemas de controle)
Sistemas simbólicos (sistemas de programação; linguística)
Programação heuristica (programas para resolução de problemas: demonstração de teoremas; jogos; indução)
Reconhecmento de padrões (redes neuronais; sistemas holográficos).

— *a parte heuristica:* mecanismo que na base da informação resolve o problema e decide o que fazer; *via da Engenharia.*

7. Em *1970*, Bertrand Raphael,[9] analisando a *história da I. A.*, afirmou que foi constituída essencialmente por *estudos de casos típicos:* «tomou-se um problema, que parece estar fora do alcance do poder de um computador e tentou-se uma via que pudesse conduzir a uma solução». Estes problemas eram escolhidos nos domínios das matemáticas formais, jogos e puzzles ou simples problemas de raciocínio quotidianos. Para Raphael, à medida que a I. A. amadureceu, o esforço dedicado a certas classes de problemas intensificou-se e *novos problemas* foram escolhidos, devido à sua dificuldade crescente. Ainda, para Raphael, a *escolha dos projectos de investigação* assentou em 2 vias:

(1) uma via dirigida para a generalidade de aproximação e o desenvolvimento de métodos formais aplicáveis a muitos problemas;

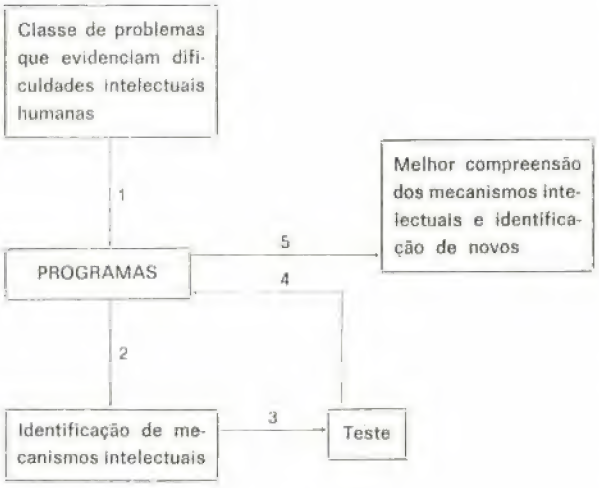


FIG. 1

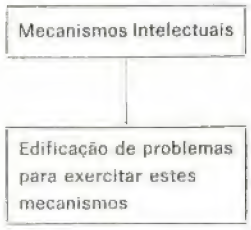


FIG. 2

(2) uma via dirigida para a escolha de domínios de problemas complexos, para os quais a integração de uma variedade de utensílios de resolução de problemas é necessária, de modo a obter uma solução satisfatória. Raphael apontou os seguintes *ramos para a I. A.:*

(1) *jogos*

(2) resolução matemática de problemas

(3) resposta a perguntas (em inglês) e assimilação de dados

(4) reconhecimento de formas.

8. Segundo James Slagle,[13] em *1971*, existiam *3 vias de investigação na I. A:*

(1) redes artificiais

(2) evolução artificial

(3) programação heurística: resolução de problemas

e os seus *objectivos principais* deviam ser:

(1) compreender a *inteligência natural;*

(2) utilizar a *«inteligência das máquinas»* para adquirir conhecimento e resolver problemas intelectuais difíceis.

9. Desde o nascimento do primeiro computador moderno, a tecnologia desenvolveu-se a uma velocidade fantástica. *Hoje* temos computadores utilizados não só para resolver problemas dificilmente computizados, tais como realizar uma F. F. T. e inverter uma matriz com dimensões elevadas, mas também para realizar tarefas, que designariamos inteligentes, se executadas pelo homem. Algumas dessas tarefas são: *escrever programas, responder a perguntas* e *demonstrar teoremas.* Paralelamente ao progresso das técnicas da *demonstraçãomecânica de teoremas,*[6] surgiu progresso na aplicação destas técnicas a vários *problemas da I. A.:* responder dedutivo a perguntas; resolução de problemas; análise de programas; síntese de programas.

10. À medida que a I. A. se foi alargando, o seu *objecto* foi-se diferenciando e a sua definição reformulando.

Hoje em dia, muitos dos trabalhadores em I. A., consideram-se como cientistas da computação e estão interessados em estender as fronteiras do nosso conhecimento sobre *o que* pode ser feito com os computadores. É neste sentido que, recentemente, Pat Hayes[14] sugeriu a seguinte *definição:* «a I. A. é o estudo da inteligência como computação», distringuindo-a da automação avançada e da psicologia humana. E, acrescentou que os aspectos essenciais estão relacionados com o modo *como* o comportamento inteligente — no sentido mais, lato, i. e., incluindo *raciocínio introspectivo* — pode ser realizado em computadores, sem necessariamente imitar-se os trabalhos do sistema nervoso humano. Aqui, a *ciência dos computadores* fornece uma metodologia clara para esta distinção, em analogia com a relação software/hardware.

Para outros, por exemplo Bunt, a I. A. é mesmo um ramo da ciência dos computadores, relacionada com o projecto de sistemas «inteligentes» de processamento de informação.

No entanto, é um facto que todo o trabalho em I. A. tem estado, desde o início, ligado fortemente ao *desenvolvimento da ciência dos computadores,* e em especial ao desenvolvimento de *novas linguagens de programação.* E, existe uma necessidade crescente em estender o conjunto das ideias e técnicas sobre computação.

III — O CORPO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: RELEVÂNCIA ACTUAL

1. O campo da Inteligência Artificial começou por esboçar-se há cerca de quinze anos, caracterizando-se inicialmente por tentativas, mais ou menos guiadas pela intuição, para utilizar os computadores na resolução de problemas que, quando resolvidos por seres humanos, se considera requererem *inteligência*.

2. No entanto, hoje em dia, existe já um corpo de conhecimentos [13] teóricos e práticos bem estabelecido e em desenvolvimento incessante, com o fito de resolver tais problemas. A maior parte do trabalho em *Inteligência Artificial* tem sido dirigido para a demonstração da realizabilidade básica das tarefas dos computadores, por exemplo, resolver puzzles, responder a questões escritas em inglês ou reconhecer objectos. Um número de laboratórios (M. I. T., Stanford University, Edinburgh University) começou a construção de sistemas que combinarão estas aptidões, para produzir um espectro largo de comportamentos interessantes e independentes, tais como sistemas «mão-olho» ou «robot», os quais enfrentarão o problema de interacção com o mundo físico.

Com o fim de evitar a complexidade dos programas, um progresso considerável tem sido feito nas *técnicas de programação*, especialmente na facilidade de manejo de estruturas de dados complicadas; e talvez, o mais importante, caminha-se para uma melhor compreensão dos principios algébricos e lógicos que suportam os *velhos problemas, entenda-se*, a *utilização* da *lógica da 1.ª ordem* nos programas de resposta a questões e de resolução de problemas, *aproximação conjuntista, mais rigorosa*, na descrição de programas que resolvem puzzles ou jogam, o *estudo da generalização indutiva* no contexto da lógica o da teoria dos autómatos e da *análise matemática* das capacidades e limitações dos «perceptrons» para o reconhecimento de padrões.

3. *A acuidade actual e futura* destes conhecimentos assenta em três pontos:

1.º) — Em primeiro lugar porque com eles se torna possível a realização de *máquinas mais inteligentes*, as quais cada vez mais libertarão o homem para tarefas onde as suas qualidades são inestimáveis.

2.º) — Em segundo lugar, porque a exploração científica dos métodos que caracterizam a inteligência, como quer que ela se apresente, vêm não só explicitar-nos os processos subjacentes ao raciocínio humano, como ainda *revelar-nos* a viabilidade de outros *processos* de *raciocinar inteligentemente*, que nos permaneciam desconhecidos.

3.º) — Finalmente, a *realização*, na prática, de *máquinas* capazes de executar *processos de raciocínio novos* e mais *complexos*, torna viável a efectivação de diálogos cada vez mais sofisticados entre o homem e as máquinas por ele criadas, permitindo a resolução conjunta de problemas nos quais se aliam as virtudes de um e de outro.

4. A FIG. 3 dá, de modo esquemático, a visão da constituição do corpo da I. A., isto é, dos seus ramos ou áreas de investigação, assim como aponta para algumas ligações já existentes.

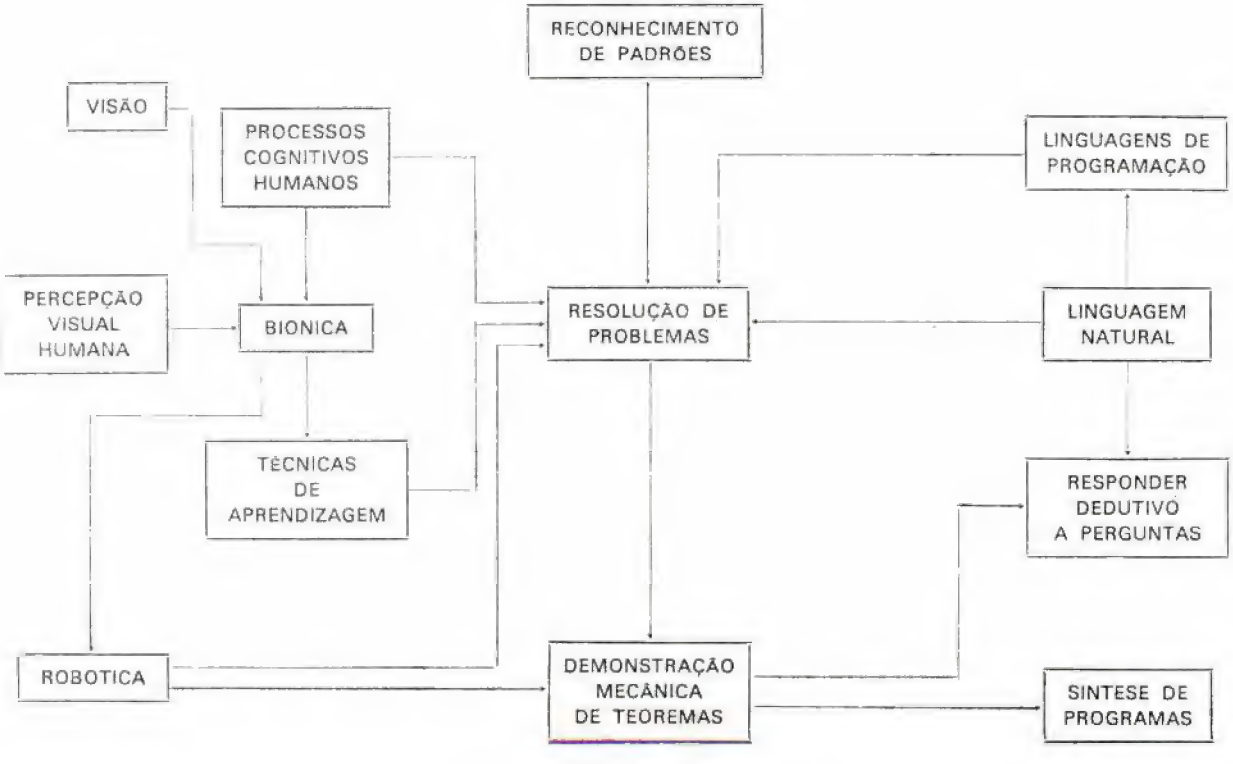


FIG. 3 — RAMOS OU ÁREAS DE INVESTIGAÇÃO EM I. A.

IV — APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1. Citam-se como *aplicações actuais* resultantes da investigação básica que tem sido levada a cabo no campo da inteligência artificial as seguintes:

— planeamento de espaços em arquitectura e urbanismo.

— análise e identificação automática de compostos químicos complexos.

— construção de «robots» para tarefas específicas, que requerem inteligência, mas desinteressantes ou impossíveis, ou demasiado perigosas para o homem.

— tradução automática e análise de textos.

— avaliação da coerência interna de sistemas de regras para descrição das línguas naturais.

— compreensão da linguagem humana (inglês) quando referida a situações bem delimitadas, e execução de ordens dadas nessa linguagem.

* — dedução automática de respostas a perguntas sobre um conjunto complexo de factos e suas relações.

— concepção de modelos dos processos cognitivos humanos, e sua utilização em psiquiatria.

— elaboração de programas que ensinam, e de linguagens especiais para comunicação de crianças com um computador.

* — desenvolvimento de linguagens formais para comunicação entre o homem e a máquina.

* — optimização do resultado de problemas complexos através do coorperação *interactiva* entre homem e computador.

* — métodos de classificação automática, que envolvem a aprendizagem de quais as categorias relevantes.

— programas para jogar jogos competitivos.

* — percepção de formas e reconhecimento de padrões por computador.

* — programas de computador que elaboram eles próprios outros programas para computador, que obedecem aos requisitos determinados pelos utilizador.

— demonstração de teoremas novos da matemática, através da manipulação pelo computador do cálculo de predicados de primeira ordem, e da teoria dos tipos.

— projecto das próximas gerações de computadores.

NOTA — as aplicações assinaladas com asterisco são particularmente importantes para o LNEC.

2. Como *exemplo* de *uma aplicação*, tomemos o programa *GPS* (General Problem Solver) concebido em 1957 por Newell, Shaw e Simon,[18] e do qual já se conhecem mais 7 versões[19] (algumas delas enriqueceram a ciência dos computadores e levaram a modificações de hardware e software já realizadas comercialmente).

O GPS é um programa histórico que serve para enunciar algumas *questões importantes*, nomeadamente: como se constrói um programa «esperto»?; como nos ajuda a I. A. a elaborar um programa mais eficiente?

O ponto mais relevante do GPS consiste em possuir várias *categorias de decisão*, durante a resolução de um problema. Antes de indicarmos algumas, convém descrever o programa, em *3 partes:*

(1) Como o problema deve ser formulado, de forma a que o GPS trabalhe sobre ele:

— deve ser formulado como um problema de procura heurística, cuja especificação é constituída por:

a) um objecto inicial;

b) um conjunto de objectos pedidos;

c) um conjunto de operadores.

— a solução de um problema de procura heurística é uma sequência de operadores que transforma o objecto inicial no objecto pedido.

— adicionalmente à especificação do problema, deve ser dada a seguinte informação (útil durante o processo de decisão):

a) um conjunto de diferenças (propriedades de um objecto);

b) uma ordenação diferenciada;

c) uma tábua de conexões;

d) um conjunto de operadores imediatos;

e) um critério de selecção;

f) informação variada.

(2) métodos de resolução de problemas

— a *heurística básica*, usada pelo GPS, é a análise dos recursos finais que envolve a divisão do problema em sub-problemas mais fáceis: 1.°) o GPS acha as diferenças entre o que é dado e o que é pedido; 2.°) com base nestas diferenças selecciona um operador, o qual aplicado ao objecto dado produz um objecto novo; 3.°) o GPS, compara o novo objecto com o conjunto dos objectos pedidos e volta ao princípio, de modo recursivo.
Pode acontecer que o operador seleccionado não seja aplicável ao objecto dado. Neste caso o GPS detecta diferenças, que produzem a razão da inaplicabilidade. Com base nestas diferenças, o GPS selecciona um operador que removerá as diferenças.

— o GPS utiliza as diferenças quer para *seleccionar* os operadores quer como medida de progresso, i. e., durante o processamento rejeita qualquer continuação, na qual um operador conduza a uma diferença mais difícil.

— o processo desta análise é mecanizado, *dividindo-se* o *problema principal* numa série

de objectivos; transforma, reduz, aplica e selecciona.

(3) representação interna de problemas, i. e., a linguagem na qual os problemas são expressos no interior da máquina:

— esta representação determina os tipos de decisões e a classe de problemas, e assim deve ser:

a) específica (para um problema) de modo que a informação necessária, para o GPS decidir, esteja prontamente acessível;

b) geral, de modo que diferentes tipos de problemas possam ser expressos; à medida que é necessário aplicá-la a problemas mais complexos, basta adicionar extensões à representação interna.

— um objecto é respresentado como uma árvore, tendo cada nó um número arbitrário de ramos. Cada nó pode ter uma descrição local, constituída por um número arbitrário de pares atributo-valor.

— um operador pode ser representado como um par de objectos que contenha variáveis (esquema de operadores).

Voltando às *categorias* de decisão do GPS, podemo-las classificar em:

A) *Decisões triviais:*

— que diferenças existem entre 2 objectos;

— se um operador pode ser aplicado a um objecto;

— que diferenças existem entre um objecto e o domínio de um operador.

B) *Decisões não triviais:*

— detectar circularidades (se um novo objectivo já tinha sido encontrado; além de objectivos, o GPS pode detectar estruturas de dados, i. e., objectos);

— descoberta da tábua de conexões;

— combinação de 2 esquemas de operadores, e processamento de um só;

— formação e processamento implícito da comutatividade e associatividade;

— como e quando tentar delimitar nos operadores aplicáveis, através de imposições;

— como decidir quais os operadores que são imediatos e quais os que são ordinários. Isso leva o GPS a poder *reformular* um problema;

— que diferenças são «boas» (uso da via estatística ou dos algorítmos fuzzy);

— que diferenças devem ser usadas: que ordenação diferencida; quais os operadores relevantes para quais diferenças/aprendizagem/.

3. Como *exemplo* de uma *aplicação mais específica*, consideremos o programa DENDRAL, de Feigenbaum, Buchanan e Lederberg.[10]

O projecto DENDRAL teve como objecto inicial, realizar num programa o raciocínio *indutivo* de um cientista numa área limitada: química orgânica. Pretendia-se ultrapassar a utilização normal do computador/cálculos dedutivos/ e abordar os aspectos *criativos* do pensamento humano: *indução científica, criação de teorias.* A maior parte do trabalho dirigiu-se para o seguinte *problema:* era dada informação sobre o espectro de massa de um composto desconhecido; era induzido um número razoável de possíveis soluções, isto é, uma pequena lista de estruturas moleculares candidatas. O programa deduzia, então, o espectro predito para cada um dos candidatos, com a ajuda da teoria da espectrometria de massa, e seleccionava a melhor hipótese, isto é, a estrutura cujo espectro predito mais se aproximava dos dados.

As principais características do programa eram:

(1) conceptualização da química orgânica em termos da teoria de grafos, isto é, uma teoria geral dos modos de combinar átomos;

(2) incorporação desta via no programa HYPOTHESIS GENERATOR, o qual era capaz de imaginar qualquer estrutura molecular concebível;

(3) organização do GENERATOR de tal modo a evitar duplicação e irrelevância, e mover-se de estrutura para estrutura, um modo ordenado e previsto.

O conceito-chave era a *indução*, que se transformava num processo de *selecção eficiente*, no domínio de todas as estruturas possíveis. Uma *procura heurística* (e avaliação) era utilizada para realizar esta selecção eficiente. A maior parte da «engenhosidade» do programa era dedicada às modificações heurísticas do GENERATOR. Algumas destas modificações provacavam uma supressão prematura de ramos improdutivos ou não plausíveis da árvore de procuras. Outras modificações exigiam que o programa consultasse os dados para palpites (análise de padrões) que podiam ser utilizados pelo GENERATOR como um plano para uma ordenação mais efectiva de prioridades, durante a geração de hipóteses. O programa incorporava a memória de sub-problemas resolvidos, que podiam ser consultados para observar um resultado, e assim evitar a continuação da computação. O programa facilitava a entrada de ideias novas, sugeridas pelas discrepâncias entre o seu funcionamento e o esperado.

Do esforço desenvolvido na preparação do DENDRAL emergiram alguns pontos de *estratégia*, relacionados com o conhecimento teórico do domínio trabalhado:

(1) era importante que a «teoria do mundo real» do programa fosse centralizada e unificada;

(2) seria vantajoso que o programa avançasse «palpites» (inferência preliminar) a partir da sua teoria, mais por introspecção do que através dos dados externos, os quais podiam não ter sido assimilados pela teoria;

(3) separação entre a teoria e as rotinas, de forma a facilitar a alteração da teoria, quer para a melhorar quer para a experimentar.

4. Como *exemplo* de uma *aplicação recente*, tomaremos o sistema STRIPS,[30] que combina as vantagens da análise dos recursos finais (evidenciada no GPS) com a demonstração de teoremas através do cálculo de predicados.

Como *características principais* apontam-se:

(1) o domínio do problema consiste em um estado inicial e um conjunto de operadores, para transformar um estado noutro. Cada estado consiste em um conjunto de declarações no cálculo de predicados de 1.ª ordem;

(2) os operadores existentes, para transformar modelos do «mundo», são caracterizados por 2 entidades: uma descrição das pré-condições, sob as quais são aplicáveis, e uma descrição dos seus efeitos;

(3) o *comportamento* de STRIPS pode ser resumido em 3 etapas:

1.ª) selecciona um sub-problema e tenta estabelecer que é verdadeiro no modelo, correntemente sob consideração. Se é, vai para 3.º). Caso contrário,

2.º) escolhe um operador relevante e designa a sua pré-condição como um sub-problema. Vai para 1.º),

3.º) se o sub-problema é o objectivo original, acaba. Caso contrário, cria um modelo substituto, aplicando o operador, cuja pré-condição tenha sido, há pouco, estabelecida. Vai para 1.º).

Iteracções repetidas, através desta circulação interna, geram uma *árvore* de *sub-problemas* e *modelos*

Desde 1971, STRIPS tem sido desenvolvido em várias direcções. *Foi modificado* de modo a salvar os planos que produz, numa forma generalizada (Fikes, 1972).[31] Estes planos transformam-se em novos operadores do poder superior aos originais. *Foi aumentado* para controlar a execução dos planos produzidos por um robot (Fikes, 1972). Esta capacidade requer que STRIPS compreenda a estrutura dos planos, para que saiba quais dos defeitos previstos de uma acção, são importantes e porquê. Uma vez conhecida a estrutura do plano é possível distinguir entre os erros do mundo real e os acidentes que ameaçam seriamente a viabilidade do plano, e os que são meramente circunstanciais. *Foi alargado*, para que possa produzir planos hierárquicos (Scerdoti, 1973).[32]

A ideia geral é primeiramente produzir um plano numa forma grosseira e então progressivamente preenchê-lo com detalhes, nos níveis mais baixos. Esta estratégica liberta STRIPS de considerar todos os pormenores ao mesmo tempo, permitindo-lhe atender primeiramente aos factos mais importantes.

5. Como exemplo de uma *aplicação no LNEC*, consideremos o trabalho de L. Pereira, L. Monteiro e F. Pereira: *agrupamento de espaços a partir* de grafos de adjacências.[23+24+25]

O problema inicial, cujo enunciado foi dividido em hipóteses e objectivos, consistia no seguinte: *dada* uma lista de adjacências, impostas e não admissíveis, entre espaços rectangulares / por exemplo: divisões de uma casa, lotes de um terreno, quarteirões de um bairro, departamentos de uma universidade, etc. /, e *dada* uma lista de distâncias, expressando as imposições dimensionais de cada espaço e de cada adjacência, *obter* um ou mais /eventualmente todos / desenhos possíveis, no plano, de um tal conjunto de espaços, *utilizando* um computador e possibilitando a *interacção* homem máquina.

Este trabalho utilizava métodos heurísticos para tratar os problemas combinatórios envolvidos e possibilitava a introdução de heurísticos adicionais, através de interacção.

Os *programas*[24] de computador desenvolvidos seguiam as *etapas* abaixo indicadas:

(1) expressão das adjacências por um grafo;

(3) teste da planaridade do grafo e obtenção de uma ou mais / eventualmente todas / representações do grafo no plano;

(3) teste, para qualquer representação pretendida, das condições necessárias e suficientes para obtenção de pelo menos um desenho dos espaços rectangulares / espaços em L e em T podem ser obtidos como combinações de rectângulos /;

(4) rejeitação ou modificação, por regras heurísticas, das representações não satisfazendo os axiomas / da teoria[25] desenvolvida /;

(5) procura e encontra de todos os desenhos possíveis, para cada representação viável;

(6 atribuição de dimensões, permissíveis e compatíveis com as imposições, a qualquer desenho. Na impossibilidade de encontrar uma solução global, podem ser obtidas soluções parciais, e facilidades de interacção permitem a reformulação das imposições e / ou a modificação de qualquer solução em favor de outro;

(7) finalmente, desenho de qualquer solução completa ou parcial, numa Line-printer ou num plotter.

V — A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO LNEC

1. Para o leigo, pode parecer estranho que um domínio quase desconhecido entre nós, apareça incluido na Divisão de Informática do LNEC (veja-se «Centros

de Computação com DEC-10 — tópicos para a definição de uma estratégia de desenvolvimento do centro de cálculo do LNEC"). No entanto, a leitura dos pontos II, III, IV e apêndices 1 e 3 sugere a oportunidade de criação do GAIA.

O LNEC é, por excelência, um lugar onde existem *problemas* para *resolver* e a quem se exigem soluções, se possível, óptimas. Normalmente, as instituições, serviços ou entidades não estão interessadas em obter uma solução para os seus problemas, mas em receber com segurança a melhor. E isto, nem sempre é assegurado com a *automatização dos cálculos*.

É necessário não esquecer a história do Centro de Cálculo do LNEC e de ter conta que representou uma etapa importante, mas não a última. É pois com a *memória* do que o Centro foi, que o GAIA surgirá, suportando o avanço para um nível superior de trabalho e de exploração dos recursos disponíveis no sistema de computação (o apêndice 1 aponta para alguns domínios de trabalho do GAIA no LNEC).

2. Para o trabalhador científico do LNEC o computador *é* a ferramenta que pode utilizar para automatizar o processo de «atacar» o problema. No seu universo a máquina é o dispositivo real «sem memória» capaz sòmente de diminuir os cálculos e o tempo em obter resultados. Daí que não exista ênfase / trabalho interactivo entre o utilizador e a máquina, na discussão dos métodos de resolução/ entre o enunciado do problema e os resultados a apresentar, mas sim um espaço vazio, desmemorizado/os truques e as habilidades descobertas para a resolução de um problema não são re-utilizados/.

Este último facto conota o fabrico de longos e ineficientes algorítmos e o seu emprego mecânico. Neste campo o computador ausenta-se, perde-se a memória dos trabalhos anteriores e cria-se a impossibilidade da máquina sugerir e discutir as *táticas* / métodos / *de resolução* do *problema*. Esta óptica tecnocrática de utilização do computador / automatizador de cálculos; automático / não vê a interacção (conversa) homem/máquina, conserva estàticamente a relação pensar versus fazer e restringe as *estratégias de aprendizagem*. Pelo contrário um regime interactivo, durante a aprendizagem do processo de resolução, faz do computador um interlocutor, um guia na viagem pelo conhecimento. Deste modo, um trabalhador científico tira proveito da aprendizagem e da produção de novos conhecimentos, i. e., todo o processo de trabalho / mecanismo cognitivo para uma aproximação; modelos e explicações: regras de inferência e princípios — como esta estrutura é finita é possível estender estas regras de forma a derivar outras «sistemas», noutros universos / fica memorizado e acessível para etapas posteriores de criação (veja-se apêndice 2).

3. Finalmente, é relevante sublinhar que a *atitude metodológica* e a experiência obtida pela I. A. em áreas tão diversas, e recuperadas pelas mais recentes linguagens de programação, irão influenciar os futuros trabalhos do Centro de Computação e de Divisão de Informática do LNEC, incrementando os seus graus de eficiência e domínios de intervenção.

BIBLIOGRAFIA SUMÁRIA(*)

[1] Maruyama, M., «Paradigmatology and its application to cross-disciplinary, cross-professional and cross-cultural communication»
Cybernetica, N.º 2 e 3, 1974.

[2] Turing, A. M., «Computing machinery and intelligence» in «Computers and Thought» ed. Feigenbaum, McGraw Hill, 1963.

[3] Minsky, M., «Steps toward artificial intelligence» in «Computers and thought» ed. Feigenbaum, McGraw Hill, 1963.

[4] Feigenbaum; Feldman, «Computers and thought» McGraw Hill, 1963.

[5] Robinson, J. A., «A machine-oriented logic based on the resolution principle».
Journal of the ACM, VOL. 12, N.º 1, Jan. 1965.
«On overview of mechanical theorem proving». Proceed. of the IV Symposium at Case Western Reserve University, NOV. 19, 1968;
Springer-Verlag, 1970;

[6] Chang, C. L.; Lee, R. C. T., «Symbolic logic and mechanical theoren proving»;
Academic Press, 1973.

[7] Minsky, M., «Semantic Information Processing» The MIT Press, 1968.

[8] Newell, A., «Remarks on the relationship between artificial intelligence and cognitive psychology»; Proceed. of the IV Systemes Symposium at Case western Reserve University, NOV. 19, 1968; Springes - Verlag, 1970.

[9] Raphael, B., «The relevance of robot research to Artificial Intelligence» in Proceed. of the IV Systems Symposium at Case Western Reserve University, NOV. 19, 1968;
Springer - Verlag, 1970.

[10] Lighthill, J., «Artificial Intelligence: a general survey» British Science Research Council, 1973.

[11] Banerji, R. B., «Theory of Problem-Solving: an approach to artificial intelligence»;
Elsevier, 1969.

[12] Mc Carthy, J.; «Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence».
Machine Intelligence 4 (1969).

[13] Slagle, J. R., «Artificial Intelligence — the heuristic programming approach»;
McGraw Hill, 1971.

[14] Hayes, P., «Some comments on Sir James Lighthill's report on artificial intelligence»;
AISB european newsletter n.º 14, 1973.

(*) Esta bibliografia encontra-se acessível na biblioteca do LNEC; os leitores motivados por este artigo, obterão mais «pistas» e «apoio» se contactarem os membros do GAIA, no LNEC.

[15] Nilsson, N., «Problem solving methods in Artificial Intelligence»;
McGraw Hill, 1971.

[16] Pask, G., «The nature and nurture of learning in a social educational system» in Proceed. of the International Symposium on Lifelong learning in an age of technology, Turin, Sep. 20-25, 1973.

[17] Newell, A.; Shaw, J., «Empirical explorations with the Logic theory machine: a case study in heuristics» (1957) in «Computers and thought» McGraw Hill, 1963.

[18] Ernst, G. «GPS and decisions making: an overview» Proceed. of the IV Systems Symposium at Case Western Reserve University, NOV. 19, 1968; Springer - Verlag 1970.

[19] Lederberg, J.; Sutherland, G.; Buchanan, B; Feigenbaum, E., «A heuristic program for solving scientific inference problem: summary of motivation and implementation». Proceed. of the IV Systems Symposium at Case Western Reserve Univ., NOV. 19, 1968; Springer - Verlag, 1970.

[20] Fikes, R.; Nilsson, N., «STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving». Artificial Intelligence 2, 1971.

[21] Fikes, R.; Hart, P.; Nilsson, N., «Learning and executing generalized robot plans». Artificial Intelligence, VOL. 3, N.° 4, 1972.

[22] Sacerdoti, E. «Planning in a hierarchy of abstraction Spaces». Techmical note 78, S. R. I., June 1973.

[23] Pereira, L. M.; Monteiro, L. F., «Agrupamento de espaços a partir de grafos de adjacências». LNEC, Junho, 1972.

[24] Pereira, L. M.; Monteiro, L. F.; Pereira, F.; Portas, N., «Interactive dimensional layout Sschemes from adjacency graphs». Proceed. da Design Activity International Cinference, Sep. 1973.

[25] Pereira, L. M., «Layout Schemes from adjacency graphs: a case study in problem solving by theory building», tese de doutoramento na Brunel University, LNEC, Fev. 1974.

APENDICE 1:

15 Pontos para proposta dum Grupo para Aplicações da inteligência Artificial (GAIA):

1 — a automatização do trabalho muscular levou à criação de máquinas como o combóio a vapor, o motor de explosão usando em viaturas, etc., que, neste exemplo, executam o *transporte* de modo dissemelhante ao da locomoção humana,embora se pudessem conceber máquinas que limitassem essa locomoção.

2 — a automatização dos processos de cálculo é apenas uma parte da automatização do trabalho mental. A generaliade dos programas de computador *segue* um caminho pré-especificado para ir de um enunciado a um resultado.

Uma outra fase da automatização dos processos mentais concerna o *encontrar* um caminho. Entramos aqui no domínio da I. A..

3 — a distinção feita em (2) pode pôr-se em termos de resolução de problemas. Seguir um caminho é aplicar uma técnica dada de modo sistemático para obter uma *solução*. Encontrar um caminho é obter um método de *resolução*, que envolve a escolha entre diversos caminhos plausíveis para chegar a uma solução. Isto é, é preciso que haja um mapa de conhecimentos.

Com um mapa estudam-se alternativas e faz-se face a situações inesperadas ou imprevisíveis. Com um trajecto fixo desenhado numa folha de papel isso não é possível.

É necessário distingir, por exemplo, entre um programa que calcula perspectivas por transformação de coordenadas, e um programa que tenha um *mapa do conhecimento geométrico*, e que saiba utilizar esse mapa para compôr sequências de teoremas da geometria que lhe permitam efectuar um certo cálculo; neste caso o programa escolhe a própria sequência de instruções (sob a forma de teoremas) que executará; isto é, o programa programa-se.

Um outro exemplo, também de possível aplicação à engenharia civil, está na distinção entre o programa que calcula volumes de escavação e aterro de uma estrada a projectar, que passa por pontos determinados e fixos, e um outro, mais sofisticado, que encontra o melhor trajecto para a estrada, também na base dos cálculos anteriores mas ainda na qualidade do terreno, necessidade de expropriação, necessidade de pontes, cenário e outros critérios.

4 — Neste último exemplo, temos que uma actividade reservada ao projectista de estradas poderá em grande parte ser automatizada uma vez que se explicitem os critérios a usar, suas precedências, excepções, etc..

E por automatização queremos dizer que a tarefa do projectista ficará aliviada daquilo, que ele próprio repete estrada após estrada.

5 — No entanto, tal como outros métodos de locomoção há para viajar pelo ar sem necessidade de uma química neuronal, também os processos de *encontrar* métodos de resolução podem ou não modelar os usados pelos humanos.

Não se julge por outro lado que os

métodos de raciocínio humano existem fixos duma por todas.

Através da IA pretende-se por um lado automatizar os métodos humanos de encontrar *resoluções*, por outro inventar novos métodos, não necessariamente imitáveis por um ser humano

6 — Como se sabe, o computador é sobretudo um processador de símbolos, e para aproveitar maximalmente essa qualidade, há que fazer uso de linguagens outras que não as orientadas para o tratamento numérico, isto é aquelas em que os símbolos estão em grande parte reduzidos a um tipo: o numérico.

Ora, os raciocínios humanos que ora se pretendem, quer imitar quer modelar, necessitam de linguagens de programação especiais que lidam não só eficazmene com símbolos na sua generalidade, mas que apresentam também facilidades para o agrupamento desses símbolos de modo a criar estruturas complexas que representam «pacages» do conhecimento.

Assim a IA entretém-se a desenvolver linguagens que mais facilmente medeiem entre o ser humano *instructor* e o computador capaz de sequenciar as doses de instrução recebidas sem ser um padrão rígido.

Isto é, o computador não é programado para ser o aluno papagueador de memória perfeita, nem é instruído como tal, mas adquire a capacidade de seguir *conselhos* conforme circunstâncias, e deverá para isso ser instruído como tal.

Por isso como ponto para introdução da IA temos o das *linguagens de programação avançadas*.

7 — Outro ponto que surge, e também em ligação com as linguagens e com a *resolução de problemas* (opondo-se à *solução* de problemas) é o da interacção utilizador/computador, complementaridade etc..

8 — A argumentar, duas coisas interligadas:

a) O LNEC servirá uma diversidade de interesses em computação para *utilizadores de fora, não necessariamente* restringidos à engenharia civil; assim o GAIA tem à sua disposição um domínio muito mais vasto de aplicações da IA, contribuindo para a expansão do Centro de Cálculo.

Entre eles apontar-se-ia o projecto em arquitectura, o urbanismo, a educação (linguagens para crianças), as neurociências (modelamento de processos cognitivos humanos), etc..

Nota importante: a detecção de aplicações só em colaboração com especialistas sofrerá teste de plausibilidade; afigura-se no entanto que o tempo amadureceu já para encontrar uma pluralidade delas.

b) As aplicações referidas, directa e indirectamente, reportam-se a actividades *não numéricas estritamente do raciocínio humano;* estamos assim face à referida automatização (ver 2) de toda a gama de raciocínios imitando os humanos, ou propondo inovações de raciocínio, que não se restringe apenas à automatização do *cálculo*, mas à gama maior de processamento de símbolos, ou raciocínio simbólico na sua maior generalidade.

9 — É claro que o modelar de processos de raciocínio exige uma:

(a) — investigação e preparação de base ou básica em IA sem a qual não é possível progredir nas

(b) — aplicações.

É necessário reconhecer a indispensabilidade de (a), em termos de *treinar pesoal fora e dentro do País*, e de garantias de continuidade de investigação nas matérias de base, no LNEC.

As aplicações (b) motivarão por outro lado a investigação básica (a) e poderão também orientá-la. Por outro lado manterão a ligação de (a) com a realizabilidade dos seus processos e com a responsabilização para com aplicações, justificando-se de modo prático e intervencional, e respondendo às necessidadesdo País.

10 — Torna-se desejável desde já interessar mais pessoas em prosseguir pela IA e em dar-lhes educação e experiência na matéria (por exemplo na School of Artificial Intelligence em Edimburgo) para tentarem efectivar as pontes com as aplicações dentro da Universidade e sua multiplicidade de departamentos.

Outras terão de especializar-se na investigação básica em IA às quais aquelas provindas de disciplinas que pretendam lançar pontes possam recorrer.

Por exemplo, um engenheiro civil, um urbanista, um arquitecto, um pedagogo podem ser pessoas interessadas em ir alguns meses a Edimburgo, visitando a escola de IA e apoiando-se ainda nos departamentos da sua especialidade para examinarem áreas de interacção possível. No entanto, parece preferível, e justificando o GAIA no LNEC, que se opte antes por obter gente com especialização de base em IA que no nosso País sejam capazes de promover essas pontes, apoiando-se e sendo apoiadas para isso na *dimensão* e *abertura* do novo Centro de Computação do LNEC.

11 — Essa dimensão e abertura *exigem* um aproveitamento o mais completo do computador e pessoal de IA que faça a *sua parte* de exploração, e dê aos utilizadores apoio = = *não basta comprar um computador* e *ficar à espera.*

12 — A notar que o display interactivo será o único no País, mas que dadas as características do computador DEC-10 poderemos ter ligações para outros pontos do País, por exemplo no Porto ligado à escola de arquitectura ou servindo (com um terminal mais completo) a Universidade do Porto.

Esse display será fundamental para a resolução interactiva de problemas.

Assim, e não só display, a experiência a obter pelo GAIA no LNEC deverá ser objecto de cursos, demonstrações e actividade pedagógica em geral, centralizando os utilizadores de IA, e chamando conferencistas estrangeiros, promovendo também a cooperação a nível internacional.

13 — O Grupo deverá poder também obter contratos fora do LNEC que não digam necessariamente respeito à engenharia civil, e chamar ou ter a possibilidade de contratar por exemplo psicólogos e pedagogos para implementar linguagens de programação (de contacto com o computador) para crianças e adultas (LOGO language) e experimentar pedagògicamente nesse sentido. Outro exemplo será o de estudar problemas na indústria susceptíveis de ataque pela IA.

14 — A notar a importância de colaboração com Investigação Operacional devendo para isso existir um grupo no LNEC.

15 — Torna-se assim indispensável a elaboração de documentos circustanciados das possibilidades focadas atrás; como sub-produto poderemos ter um curso de lógica, o qual estará integrado num curso de IA mas podendo ser utilizado autònomamente.

Outros sub- produtos serão linguagens de programação especiais a ensinar.

APENDICE 2:

Discussão sobre compreensão

Segundo Gordon Pask[16]

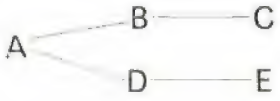
A — «O indivíduo *compreende* R» significa «o indivíduo tem um *conceito* para R» e «o indivíduo tem uma *memória* paraR ».

B — «O indivíduo tem um conceito para R significa o indivíduo tem, no seu repertório mental, uma classe de programas (geralmente, programas não deterministicos ou algorítmos fuzzy) capaz de reproduzir, executar, ou satisfazer a relação temática R.

C — A existência de um conceito é evidenciado pela capacidade que um indivíduo tem para explicar R e derivar todos os termos utilizados na explicação.

D — «O indivíduo tem uma *memória* para R» significa «o indivíduo tem uma classe de programas capaz de reproduzir ou reconstruir o conceito de R, de outros conceitos do seu repertório».

E — A existência de uma memória é evidenciada pela capacidade do indivíduo justificar a explicação de R e derivar todos os termos utilizados nesta explicação.



APENDICE 3:

Centros e Grupos de Investigação em Inteligência Artificial

A I. A. emergiu como um campo de investigação coerente nos U. S. A. e começou a atrair um número apreciável de trabalhadores, no período 1958-62. Na Grã-Bretanha a investigação iniciou-se por volta de 1963, no Japão em 1968 e no Canadá em 1970. Nos últimos 4 anos apareceram vários grupos na Europa (Suécia, França, Itália, Rússia, etc), não sendo apreciável, no entanto, o seu volume de trabalho.

U. S. A.

Massachusetts Institute of Technology: A. I. Laboratory
Stanford Research Institute: A. I. Center
Stanford University: Artificial Intelligence Laboratory
Carnegie-Mellon University: Computer Science Department; Psychology Departement
State University of New York at Buffalo: Department of Computer Science
Cornell University: Computer Science Department
National Institute of Health: Heuristics Laboratory Division of Computer Research and Technology
IBM Thomas J. Watson Research Center
University of Texas at Austin: Department of Computer Sciences
University of Wisconsin-Madison: Computer Sciences Department
University of California at Berkeley: Department of Electrical Engineering and Computer Sciences

GRÃ BRETANHA

University of Edinburgh: Department of Articial Intelligence
Essex University: Computing Centre, Department of Computer Science

University of Sussex; Department of Experimental Psycology, School of Social Sciences
Imperial College of Techonology: Department of Computer Science
University of Cambridge: Kings'College Research Centre, Churchill College
University of London: Queen Mary College: Department of Computer Science and Statistics

JAPÃO

Kyoto University: Department of Information Science
Tokyo University: Department of Computer Science
Toshiba Research Laboratory
Hitachi Central Research Laboratory
Mitsubishi Central Research Laboratory
Riken Information Sciences Laboratory

CANADÁ

University of Western Ontário: Department of Psychology and Computer Science; Canadian Society for Computational Studies of Intelligence
University Mc Gill: Department of Electrical Engineering
University of Montreal: Psychology Department of applied analysis and Computer Science
University of British Columbia (Vancover): Computer Science Department
University of Waterloo: Computer Science Department

ITÁLIA

Politecnico de Milano: Laboratório di Calcolatori di Istituto di Eléctrotecnica ed Electtronica
Universidade de Pisa
Universidade de Torino

FRANÇA

Université de Caen: Laboratoire de Mathematiques appliqueés
Université de Paris VIII: Institut d'Intelligence Artificielle
Université d'Aix-Marseilhe: Groupe d'Intelligence Artificielle
Institut de Recherches d'Informatique et d'Automatique (I. R. I. A.)

CHECOSLOVÁQUIA

C. S. A. V.: Mathematical Institute, Prague
Czech Technical University: Institute for Computation Techniques
Czech Academy of Sciences:Institute for Information Theory and Automation

SUÉCIA

University of Uppsala: Datalogilaboratoriet, Department of Computer Science

BRASIL

Universidade de S. Paulo: Departamento de Engenharia Electrotécnica

U. S. S. R.

U. S. S. R. Academy of Sciences: Siberian Division: Instituto for Mathematics: Novossibirsk, Akademgorodak e Moscovo

SUIÇA

Istituto Per Gli Studi Semantici e Cognitivi: Fondatione Dalle Mollo, Castagnola

ALEMANHA

Rheinish - WestfälischesInstitut für Instrumentelle Mathematik, Bonn
Technische Universität München: Institut fur Datenverarbeitung
Technisch Universität, Berlin
Universität Stuttgart: Institut für Informatik
Universität Karlsruhe: Institut für Informatik I

MÉXICO

Centro de Cálculo Electrónico da Universidad Nacional Autónoma de México — Ciudad de México

HUNGRIA

Central Research Institut for Physics, Budapest
Computer Center of Ministry of Heavy Industries, Budapest

APENDICE 4:

Publicações periódicas de/ou relacionadas com/ inteligência artificial

(1) — Artificial Intelligence, na international journal, American Elsevier
(2) — Canadian nowsletter on artificial intelligence, Canadian Society for Computational Studies of Intelligence
(3) — AISB european newsletter, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh
(4) — Sigart newsletter, ACM — Association for Computing Machienery
(5) — Journal of the ACM
(6) — Communications of the ACM
(7) — Cibernética
(8) — Int. Journal Man-Machines Studies
(9) — Machine Inaelligence, University of Edinburgh
(10) — Computer journal
(11) — IBM Journal on research and development
(12) — IEEE transactions on systems, man and cybernétics
(13) — Journal of Math. Anal. and Applic.
(14) — Information and Control
(15) — The Journal of Symbolic Logic
(16) — The Notre Dame Journal of Logic

FILTROS TECIDOS

PARA GAZES E LÍQUIDOS
EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEFS.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

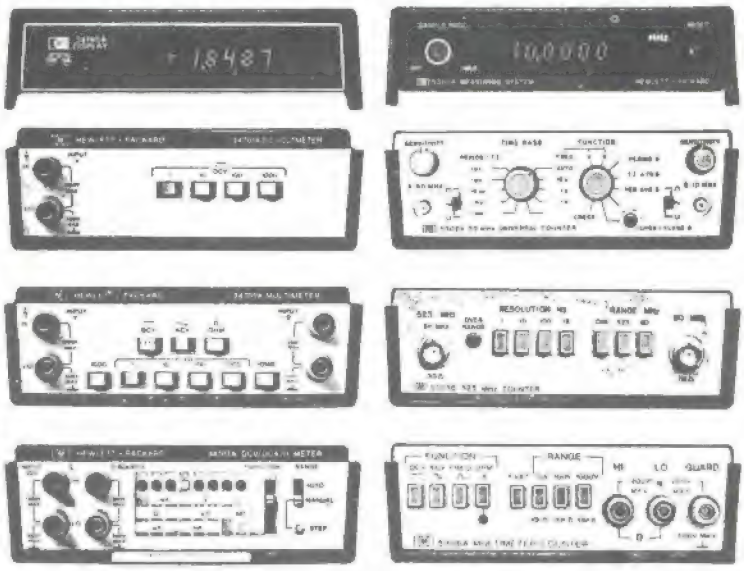
DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C. P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C. P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C. P. 1002 - Tel. 7 14 97

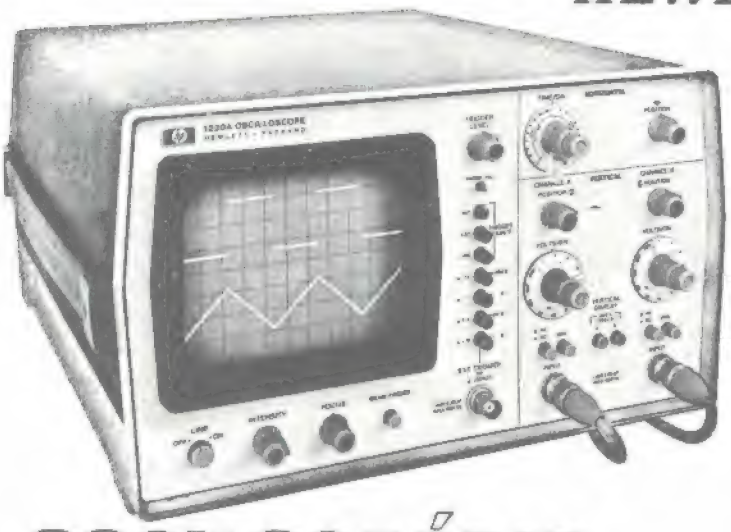
DIGITAIS

MULTÍMETROS · CONTADORES



3470 5300

HEWLETT hp PACKARD



T18

LABORATÓRIO DIGITAL

Mod. 5035T

OSCILOSCÓPIO 1220

TELECTRA

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S.A.R.L.

R. Rodrigo da Fonseca, 103 - LISBOA
Telefones 68 60 72-3-4-5 - Telex 1588
R. José Falcão, 15-4º Dto. PORTO - Tel. 2 62 09 - 3 33 50

C. D. U. 621.374

A utilização de variáveis pseudo-aleatórias na identificação de sistemas

S. D. ANTUNES
Assistente no I. S. T.

SUMÁRIO

Utiliza-se correntemente, na determinação da resposta impulsional de sistemas, a correlação cruzada: entrada-saída da resposta do sistema a um sinal pseudo-aleatório.

Neste primeiro artigo descrevem-se as propriedades e o modo de geração dessas variáveis pseudo-aleatórias.

SUMMARY

The generation of pseudo-random sequences, and its use on the identification of systems (review article).

1 — INTRODUÇÃO

Consideremos um sistema S de variáveis x, J respectivamente de entrada e de saída, e definido pela resposta impulsional h (t).

Na figura 1 representam-se os componentes de um correlador para obtenção da correlação cruzada entrada-saída $R_{xj}(\tau)$ do sistema S.

Matemáticamente $R_{jx}(\tau)$ é definida por:

$$R_{xj}(\tau) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t-\tau)\, J(t)\, dt \qquad (1.1)$$

Sendo h(t) a resposta impulsional do sistema, sabe-se que:

$$J(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(u)\, x(t-u)\, du \qquad (1.2)$$

Substituindo (1.1 em (1.2) e atendendo a que a função de auto-correlação da variável x de entrada se pode escrever:

$$R_{xx}(\tau - u) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t-\tau)\, x(t-u)\, dt \qquad (1.3)$$

vem:

$$R_{xj}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(u)\, R_{xx}(\tau - u)\, du \qquad (1.4)$$

Se x (t) for uma variável aleatória de valor médio nulo e de variância τ, i. e., uma variável tal que:

$$R_{xx}(\tau) = \sigma\, \delta(\tau) \qquad (1.5)$$

em que $\delta(\tau)$ representa a função de DIRAC. Então:

$$R_{xy}(\tau) = \sigma^2\, h(\tau) \qquad (1.6)$$

E a correlação cruzada entrada-saída permite pois determinar fácilmente a resposta impulsional h(t) do sistema.

A utilização de variáveis x(t) do tipo pseudo-aleatório, traz vantagens, não só devido ao modo de geração destas, mas como veremos mais adiante, devido à facilidade de elaboração de um correlador.

2 — SUCESSÕES E VARIÁVEIS PSEUDO-ALEATÓRIAS

Seja $\langle s \rangle$ uma sucessão de variáveis lógicas «0» ou «1». Representamos por $A^k \langle s \rangle$ um atrazo da sucessão $\langle s \rangle$ em k termos, i. e., uma nova sucessão obtida por um atrazo de $\langle s \rangle$. Se for $\otimes$ a operação lógica: soma lógica módulo 2 («ou-exclusivo»), a sucessão $\langle s \rangle$ diz-se pseudo-aleatória se:

$$(C_1 A^n \otimes \ldots \otimes C_2 A^{n-1} \otimes C_n A) \langle s \rangle \equiv \langle s \rangle \qquad (2.1)$$

em que os Ci tomam um dos valores lógicos «0» ou «1». Então $A^1 \langle s \rangle$ pode obter-se pela soma $\otimes$ de alguns dos $A^n \langle s \rangle$, $A^{n-1} \langle s \rangle, \ldots, A \langle s \rangle$ a que corresponde o esquema representado na figura2.

Para cada número n de unidade de atraso, existirá sempre uma combinação de C_i tal que se obtem uma sucessão de dimensão máxima. Tais sucessões designam-se por *sucessões* — m (m. l. b. s. — maximum length binary sequences).

A geração da sucessão — m faz-se por um circuito lógico sincronizado por um relógio exterior, e a cada

impulso fornecido pelo relógio gera-se um novo termo de sucessão.

Como unidades de atraso utilizam-se registos adequados («shift-registers»), e a geração da sucessão — m é obtida pela realimentação através de um ou-exclusivo, como atrás se viu (figura 3).

Utilizando a sucessão — m, assim gerada, pode comandar-se um circuito tipo relé, tal que a uma saída lógica «0» corresponde uma entrada x_0 para o sistema, e a uma saída lógica «1» corresponde uma entrada x_1 para o sistema. A variável x(t) obtida pela sucessão de valores x_0 e x_1 comandados pela sucessão — m designa-se por *variável pseudo-aleatória*.

3 — PROPRIEDADES DAS SUCESSÕES — m

Referem-se a seguir algumas das propriedades das sucessões — m:

PROPRIEDADE 1 — A sucessão — m é uma sucessão determinada e reprodutível.

Efectivamente, tratando-se de uma sucessão gerada por um sistema lógico simples, é fácil a repetição da sucessão, e não só a sua repetição, mas também a geração simultânea de duas sucessões — m desfasadas de k termos.

PROPRIEDADE 2 — A sucessão — m é periódica.

A sucessão — m gerada por um sistema com n unidades de atraso é periódica, e de período $N = 2^n - 1$ termos.

PROPRIEDADE 3 — A sucessão — m só se obtém com uma realimentação adequada.

A realimentação através do ou-exclusivo depende do número de unidades de atraso, e só algumas conduzem a sucessões — m. No quatro I indicam-se para valores de $n \leqslant 20$ a dimensão da sucessão e as unidades de atraso que se escolhem para a realimentação.

4 — PROPRIEDADES DAS VARIÁVEIS PSEUDO-ALEATÓRIAS

Seja x(t) uma variável pseudo-aleatória, vejamos algumas das suas propriedades:

PROPRIEDADE 1 — A variável x(t) é periódica de período $T = N\theta = (2^n - 1)\,\theta$ em que θ é o período do relógio de sincronização do sistema de geração da sucessão — — m.

Pode variar-se fácilmente o período da variável x(t), variando o número n de unidades de atraso, ou o período do relógio de sincronização.

PROPRIEDADE 2 — A função de *auto-correlação* $R_{xx}(\tau) = \overline{x(t)\ x(t-\tau)}$ é bem determinada em τ, e é periódica de período $T = N\theta$.

Consideremos uma variável pseudo-aleatória i(t) tal que i(t) = 1 se a sucessão — m toma o valor lógico «1» e i(t) = 0 se a sucessão — m toma o valor «0». Em relação a essa variável pseudo-aleatória, a função de auto-correlação, no período $0 \leqslant \tau \leqslant N\theta$, é definida por:

$$R_{ii}(\tau) = \begin{cases} 1 - \dfrac{N+1}{N\theta}\,t & \text{para } 0 \leqslant \tau \leqslant N\theta \\ -\dfrac{1}{N} & \text{para } \theta \leqslant \tau \leqslant (N-1)\theta \\ \dfrac{N-1}{N\theta}\,t - N & \text{para } (N-1)\theta \leqslant \tau \leqslant N\theta \end{cases} \tag{4.1}$$

(veja-se a figura 4).

Qualquer variável pseudo-aleatória x(t), pode escrever-se:

$$x(t) = X_1\ i(t) + X_2 \tag{4.2}$$

em que X_1 e X_2 são constantes reais.

Então, para x(t) a função de auto-correlação será definida por:

$$R_{xx}(\tau) = X_1^2\ R_{ii}(\tau) + 2\ X_1 X_2\ \overline{i(t)} + X_2^2 \tag{4.3}$$

A função de auto-correlação pode pois decompor-se na soma de uma constante com um triângulo (veja-se a fig. 4). Escolhendo adequadamente os valores de X_1 e de X_2, poderá anular-se o valor dessa constante. Para tal basta como se vê, que seja:

$$X_2 = \frac{-1 \pm \sqrt{1+N}}{N}\ X_1 \tag{4.4}$$

Poderá, não ser possível obter a condição citada em (4.4). É no entanto possível gerar uma segunda variável pseudo-aleatória:

$$x'(t) = X'_1\ i(t) + X'_2 \tag{4.5}$$

de tal modo que na função correlação cruzada.

$$R_{xx'}(\tau) = X_1X'_1\ R_{ii}(\tau) + (X_1X'_2 + X'_1X_2)\ i(t) + X_2X'_2 \tag{4.6}$$

a constante da função de auto-correlação se anule.

5 — CONCLUSÕES

A utilização de variáveis pseudo-aleatórias na identificação de sistemas é de aplicação fácil, ainda que se devam ter presentes uns quantos condicionamentos, no que se refere a erros de medida, assim:

5.1 — A variável pseudo-aleatória não possui tal como uma variável aleatória uma auto-correlação ade-

quada da dimensão N da sucessão — m e da frequência ω_r do relógio de sincronização, permite obter uma boa aproximação do impulso de DIRAC.

5.2 — Dada a periodicidade do sinal, i. e., da variável pseudo-aleatória, a que corresponde um espectro que não é constante para todas as frequências (ver figura 5). Deve escolher-se uma sucessão tal que a resposta impulsional do sistema seja aproximadamente nula para instantes correspondentes ao período da variável pseudo-aleatória, i. e.:

$$h(\tau) \simeq 0 \text{ para } \tau \geq N \theta \qquad (5.1)$$

5.3 — Não se trata pois como se vê de uma variável aleatória (ruído branco), e costuma escolher-se uma frequência para o relógio de sincronização de pelo menos vinte vezes superior à maior frequência do espectro resultante da resposta impulsional do sistema.

O espectro da variável pseudo-aleatória é pois controlável pela frequência do relógio de sincronização.

5.4 — O facto do valor médio da variável pseudo-aleatória não ser nulo faz como vimos aparecer na correlação uma constante. Seja r o valor dessa constante, vimos de (1.4) que essa constante conduz a:

$$R_{xj}(\tau) = \sigma^2 h(\tau) + r \int_{-\infty}^{+\infty} h(u)\, du \qquad (5.2)$$

e, o erro cometido depende pois não só de r, mas também de h(u). E este erro é fácilmente controlado.

5.5 — Dada a natureza determinista da sucessão — m, reduz-se bastante a influência de outros ruídos de natureza estatística que se sobreponham ao sinal pseudo-aleatório.

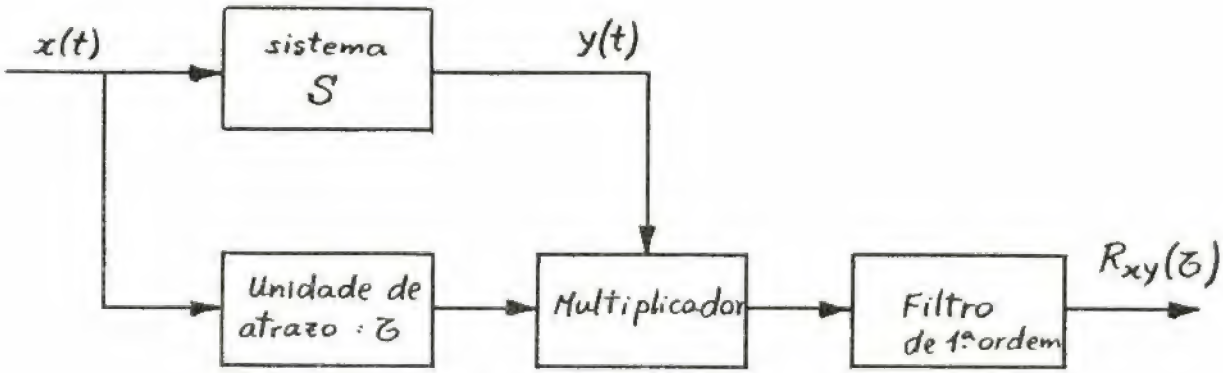


FIGURA 1 — Determinação de correlação cruzada entrada-saída $R_{xy}(\tau)$ num sistema(S)

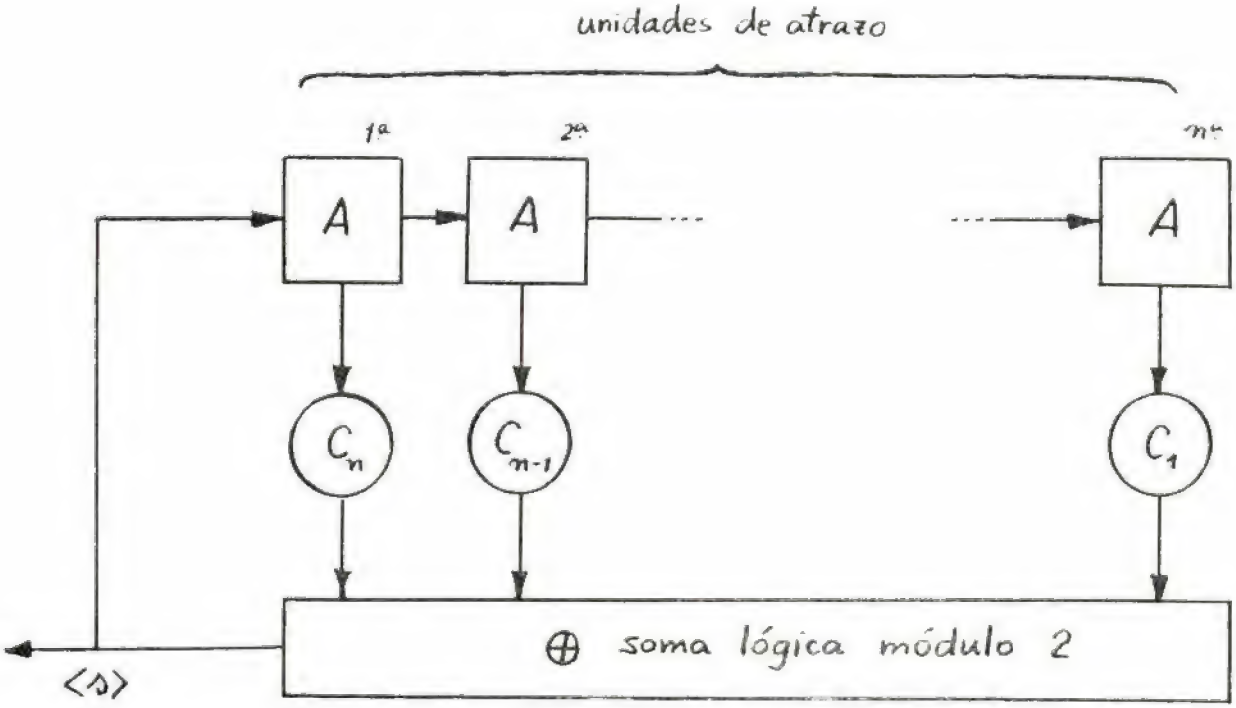


FIGURA 2 — Geração de sucessões de termos lógicos

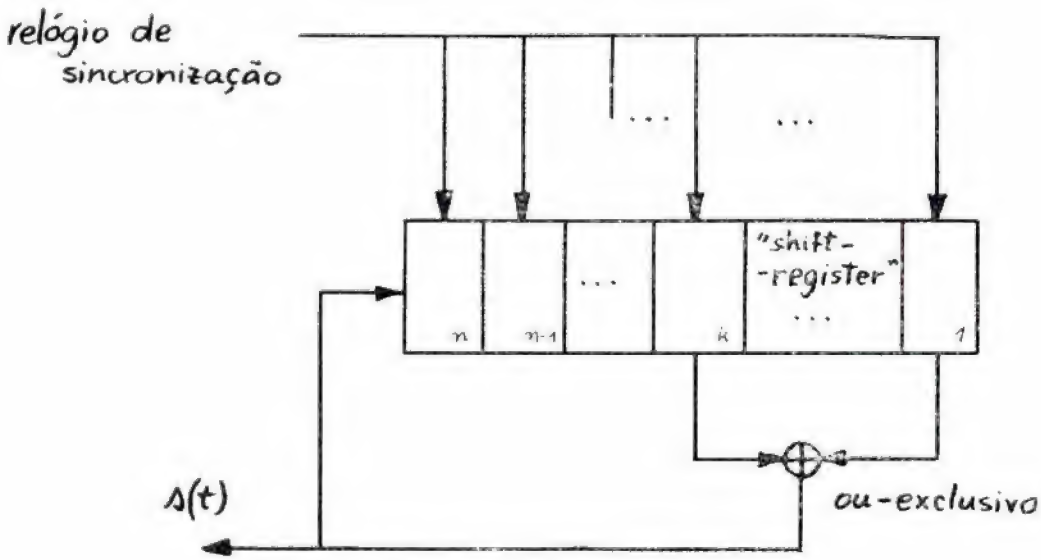


FIGURA 3 — Gerador da sucessão — m

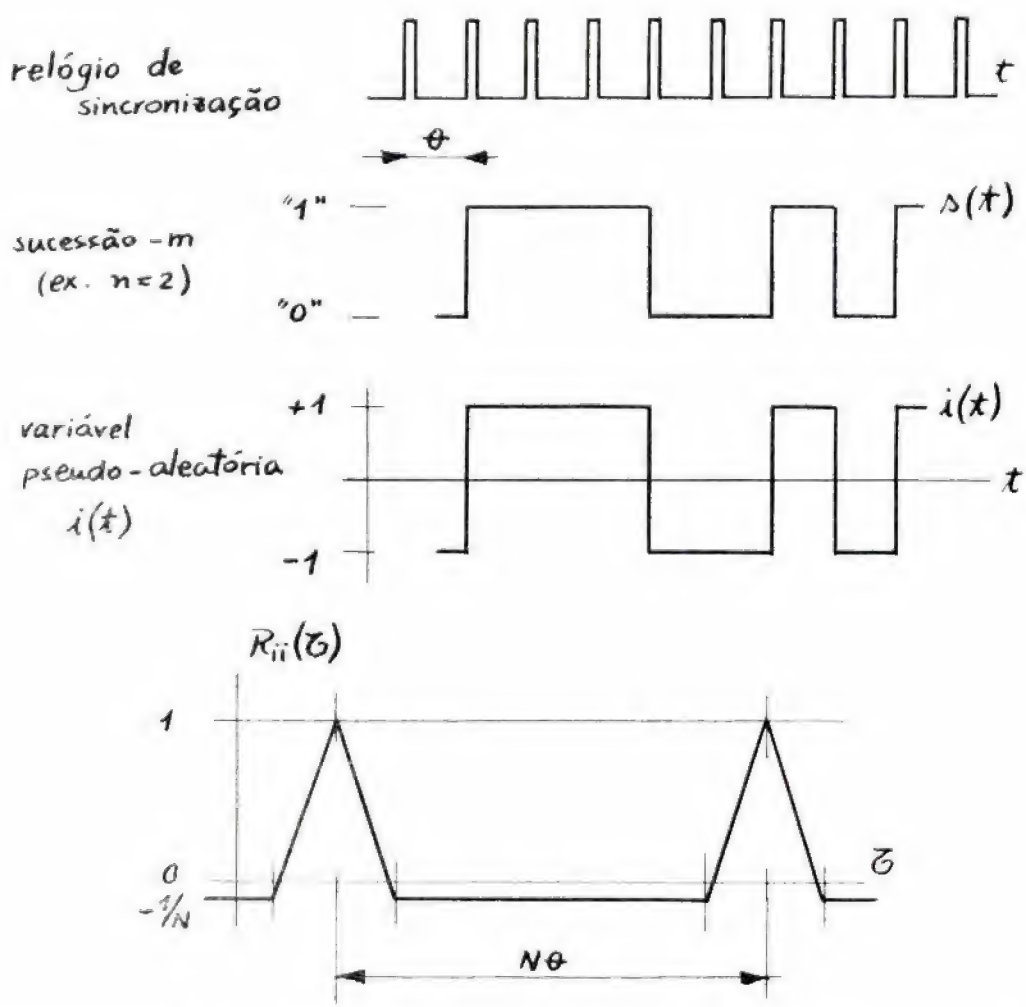


FIGURA 4 — Relação entre os impulsos do relógio de sincroni zação, a sucessão —, a variável pseudo-aleatória i(t) e a sua auto-correlação $R_{ii}(\tau)$

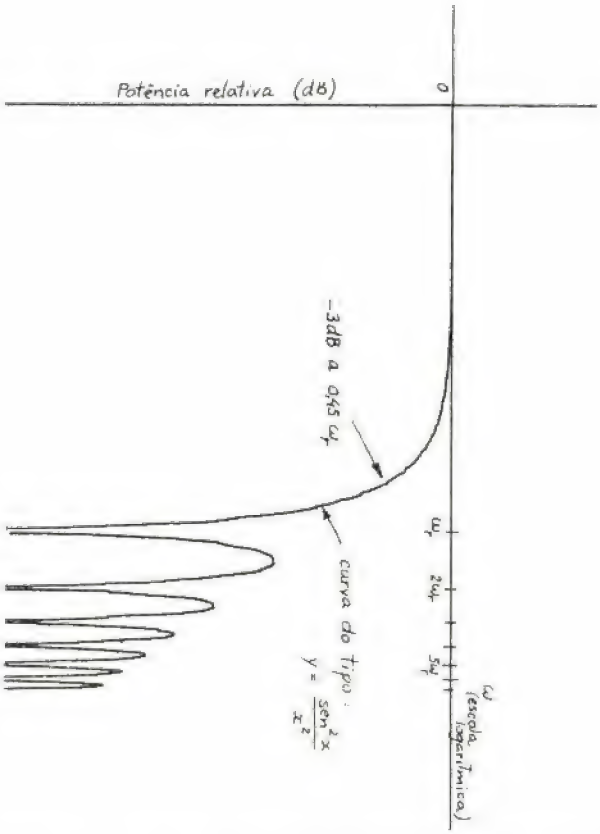


FIGURA 5 — Espectro densidade de potência de uma variável pseudo-aleatória do tipo i(t)

Consoante o sistema em estudo, problemas particulares se poderão por, nomeadamente sobre a natureza dos transdutores e erros de medida. Não se consideram por agora tais problemas, por se não situarem no âmbito da revisão que efectuámos.

QUADRO I

GERAÇÃO DE SUCESSÕES — m

Número de andares de atraso *n*	*Dimenção de sucessão — m* $N = 2n - 1$ *n*	*Unidades de atraso utilizadas para a realimentação*
2	3	1, 2
3	7	1, 3
4	15	3, 4
5	31	3, 5
6	63	5, 6
7	127	6, 7
8	255	4, 5, 6, 8
9	511	5, 9
10	1023	7,10
11	2047	9,11
12	4095	6, 8,11,12
13	8191	9,10,12,13
14	16383	4, 8,13,14
15	23767	14,15
20	1048623	17,20

6 — BIBLIOGRAFIA

Van den Bos, A. — Electronics for scientists ed. Estudos Avançados de Oeiras — 1972.

Nikiforuk, P. N. e Gupta, M. M. — A bibligraphy of the properties, generation and control systems applications of shift register sequences. Int. Journal of Control 9, 2, Fev. 1969.

Davies, W. D. T. — System Identification for Self-Adagtative Control ed. Wiley — 1970.

Eykhoff, P. — System Identification Parameter and State Estimation ed. Wiley — 1974.

Feiras, Conferências, Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÕES
Feira Técnica Industrial	Tel-Aviv Outubro
Feira Técnica Internacional	Bucareste Outubro - 75
Salão das Industrias de Equipamento e Manutenção Automóvel	Paris 2 a 10 de Outubro - 75
Salon de la Caravane et de la Residence Mobile	Paris - Le Bourget 2 a 12 Outubro - 75
Salon de l'Automobile	Paris 3 a 13 Outburo - 75
Feira Internacional de Plásticos + Caucho	Düsseldorf 7 - 14 Outubre - 75 Rep. Fed. d'Allemagne
World Congress ou Finite Element Methods in Structural Mechanics	Bomnemouth, Dorset, England 12 th - 17 th October - 75 at the Royal Bath Hotel
Feira Internacional da Construção e Obras Públicas	Madrid 10 a 19 de Outubro - 75
FILDA Feira Internacional de Luanda	Luanda 5 a 20 de Outubro - 75

electrobombas

TIPO CM

- Tipo Monobloco
- Flanges na admissão e na saída
- Caudais até 70.000 litros/hora
- Elevado rendimento
- Serviço contínuo
- Alturas manométricas até 42 m.
- Motor eléctrico e Bomba de fabricação EFACEC
- Peças legítimas

EFACEC

EFACEC

EFACEC, Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, S. A. R. L.

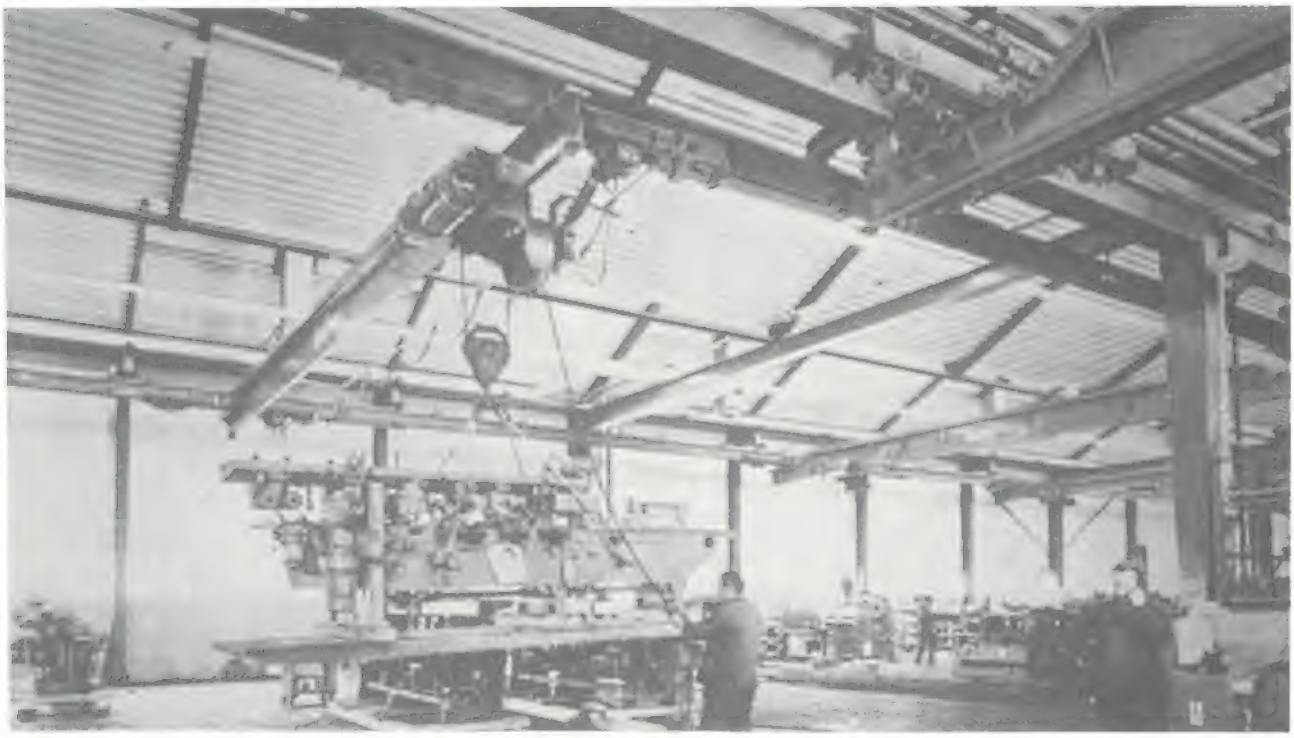
Divisões comerciais: **LISBOA** – RUA RODRIGO DA FONSECA, 76, 3.º – TELEF. 53 01 61

PORTO – RUA SA DA BANDEIRA, 706, 5.º – TELEFONE 31 20 14

Não inventamos

a ponte rolante

mas tratamos de aperfeiçoa-la



As pontes rolantes não são novidade, nem para V. Sas. nem para nós. Não deve haver ninguém que as não conheça. O nosso saber concentra-se em qualquer sistema de pontes rolantes, suspensas ou apoiadas.

Os sistemas de pontes rolantes e de monovigas suspensos são económicos. Tornámo-los flexíveis e independentes de cuidados de manutenção, pelo aperfeiçoamento da técnica, dos accionamentos, dos aparelhos de elevação e dos comandos.

Os sistemas de pontes rolantes e monovigas suspensos dão independência, visto que podem ser ampliados.

São investimentos para dezenas de anos.

Servem a geração industrial de hoje e do futuro.

Consultem-nos. Apresentar-vos-emos sugestões e projectos. Forneceremos e cuidaremos das vossas instalações.

ROMAR

UMA ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA

LISBOA
R. DA BOAVISTA, 83-1.º D
TELEF. 60 31 31

•

PORTO
R. DE SÁ DA BANDEIRA, 589
TELEFS. 25871 - 32205

EXPONHA-NOS O SEU PROBLEMA
O NOSSO GABINETE TÉCNICO ENCONTRARÁ A SOLUÇÃO ADEQUADA

C. D .U. 699.844:624.025.3

Pavimentos Flutuantes

Ensaio em modelo para qualificação do isolamento à transmissão de ruídos de percussão

Floating Floors

Model tests for assessing the insulation against impact noises

P. MARTINS DA SILVA
Especialista do Serviço de Edifícios

RESUMO

A avaliação, em laboratório, da eficácia de um pavimento flutuante em atenuar a transmissão de ruidos de percussão é laboriosa, por exigir a construção, no local de ensaio, da laje flutuante. Para além disto, obriga ao emprego de uma quantidade relativamente elevada de material resiliente, o que representa uma dificuldade principalmente quando se esteja numa fase de afinação de um processo de fabricação.

Demonstra-se que, com boa aproximação, a frequência de ressonância da laje assente sobre a camada resiliente é o parâmetro de que depende a eficácia do revestimento em atenuar a transmissão de ruídos de percussão. Para uma laje de espessura e composição uniformes e para camada resiliente homogénea, esta frequência é independente da área, podendo determinar-se em modelo reduzido.

Apresentam-se dados experimentais que evidenciam a concordância dos resultados obtidos do ensaio em modelo com os colhidos de acordo com o processo normalizado.

SYNOPSIS

The method of evaluating the ability of floating floors to attenuate impact noises is laborious because it requires the construction, on the test site, of a floating slab. Moreover, it implies the use of quite a lot of resilient material, which is a rather difficult task, particularly if the process of manufacture is still in an improvement stage.

Is it shown, with good approximation, that the resonance frequency of a slab resting on a resilient layer is the parameter governing the efficiency of the lining in decreasing the transmission of impact noises. For a slab with uniform thickness and composition and for a homogeneous resilient layer, this frequency is independent of the area and can be determined on a model.

Experimental data showing the agreement between the results obtained in model tests and those obtained by the standard method are presented.

1 — INTRODUÇÃO

Os problemas de isolamento e de insonorização assumem acuidade crescente para a indústria e a habitação, preocupando médicos, engenheiros, arquitectos, sociólogos. Para efeito de isolamento sonoro é usual distinguir entre ruídos de percussão e ruídos aéreos, conforme haja ou não uma solicitação directa das estruturas. Os primeiros são, no caso de transmissão sonora entre habitações contíguas, talvez os mais incómodos e que dão origem a número maior de queixas. Na verdade o homem vive sobre o solo que excita directamente através da sua actividade e indirectamente através de todas as vibrações transmitidas pelos «escravos mecânicos» cujo concurso não pode dispensar.

Para obviar à propagação de ruídos resultantes da percussão de pavimentos e evitar a sua recepção, por via aérea, pelos ocupantes de compartimentos vizinhos, torna-se necessário introduzir um corte elástico entre o revestimento de piso e o elemento de suporte de cargas. A melhor solução actual consiste na realização de um pavimento flutuante sobre uma camada resiliente (figura 1).

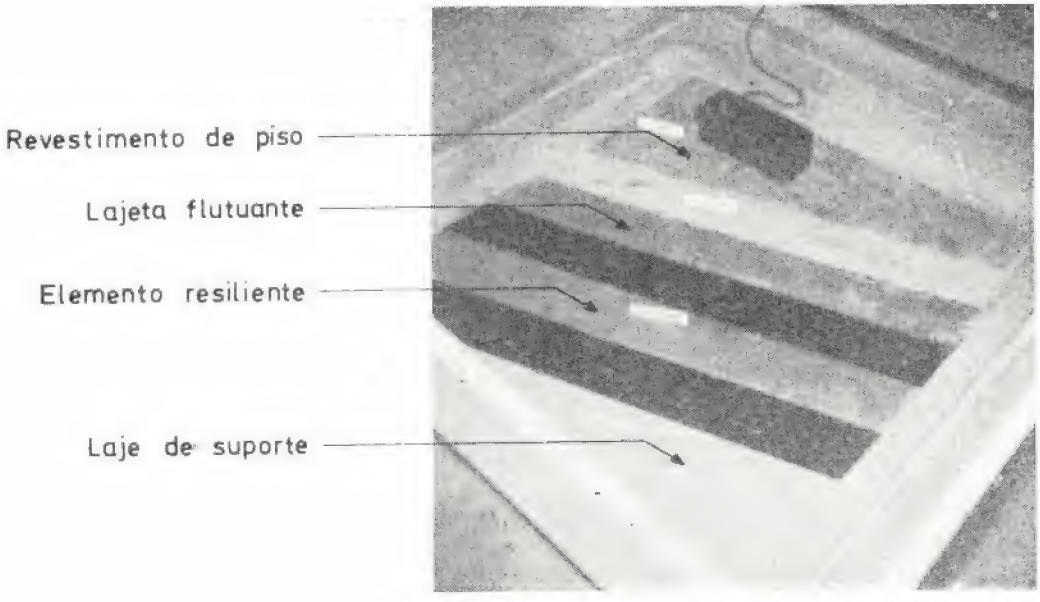


FIG. 1 — Pavimento flutuante

Com vista a caracterizar a eficiência de um sistema destes e, não sendo possível enquadrar em tipos bem definidos as diversas acções de percussão a que estão sujeitos os pavimentos dos edifícios, nem definir estados

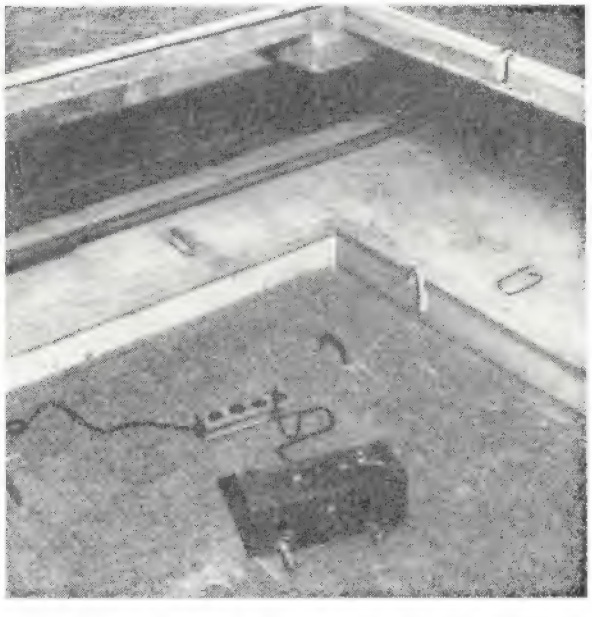


FIG. 2 — Ensaio de percussão de um pavimento flutuante

característicos de vibração, foi acordado internacionalmente (ISO R 140/1960) proceder-se à percussão normalizada dos pavimentos (figura 2).

Trata-se de ensaio moroso pois que exige, para haver assentamento perfeito da lajeta flutuante, que esta seja construída no local de ensaio. Descreve-se neste trabalho um método de ensaio em modelo reduzido possibilitando grande economia de tempo e de materiais.

2 — DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Uma lajeta assente sobre uma camada resiliente assemelha-se, numa concepção modelar, a um sistema oscilante constituído por uma massa assente sobre uma mola, com certo amortecimento que se admite do tipo viscoso. Desprezando o amortecimento, a frequência de ressonância do conjunto é determinada pela massa da lajeta (é desprezível a da camada resiliente) e pela rigidez da camada resiliente. Para uma lajeta de carga bem definida por unidade de área e para uma camada resiliente homogénea, estes parâmetros são proporcionais à superfície em causa, o que torna a frequência de ressonância independente desta, legitimando a determinação em modelo reduzido de tal frequência.

O método de ensaio que é objecto deste trabalho, faz depender a qualificação do isolamento acústico conferido por um pavimento flutuante unicamente da frequência de ressonância do sistema oscilante constituído pela lajeta assente sobre a camada resiliente — esta frequência, como se referiu, pode determinar-se através de modelo reduzido.

Considere-se o sistema oscilante representado na figura 3, constituído por um corpo de massa m que se encontra ligado a um plano fixo por uma mola de rigidez K_r e por um amortecedor viscoso de constante K_a. Sobre o sistema actua a força periódica F:

$$F = F_m \cdot \cos \omega t \qquad (1)$$

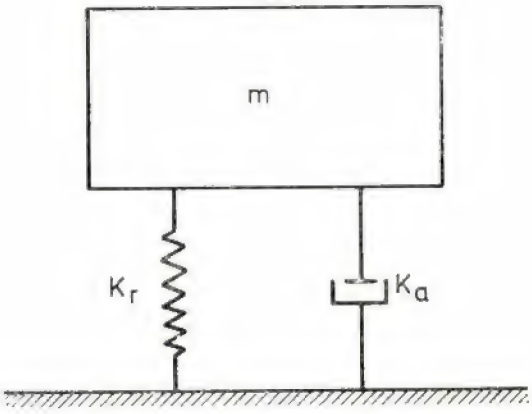


FIG. 3 — Modelo físico-matemático de pavimento flutuante

Desprezando a massa da camada resiliente perante a massa da lajeta flutuante, a equação diferencial do movimento desta pode escrever-se:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + K_a \frac{dx}{dt} + K_r\, x = F_m \cos \omega t \qquad (2)$$

O integral geral desta equação assume a forma referida a seguir:

$$x = A\, e^{-\gamma\omega_0 t} \operatorname{sen} \left(\sqrt{1-\gamma^2}\, \omega_0 t + \varphi \right) + B \cos (\omega t + \psi) \qquad (3)$$

Em que:

$1 - \gamma = \dfrac{K_a}{K_{ac}}$ é o factor de amortecimento, representando K_{ac} o amortecimento crítico, isto é, tal que:

$$K_{ac} = \sqrt{4\, m\, K_r}$$

2 — $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{K_r}{m}}$ é a frequência angular da oscilação não amortecida.

3 — A, φ são constantes determináveis a partir das condições iniciais.

4 — B, ψ devem satisfazer a:

$$B = \frac{F_m}{K_r} \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \qquad (4)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{2\gamma \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Em consequência da oscilação da lajeta apoiada sobre a camada resiliente, o elemento de suporte de cargas vai ser actuado (considera-se apenas o regime permanente, com desprezo portanto do transitório) por uma força de amortecimento ($K_a \cdot \dfrac{dx}{dt}$) cuja resultante terá por amplitude:

$$F_t = F_m \frac{\sqrt{1 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \qquad (5)$$

Calcula-se a razão entre as amplitudes da força que origina a oscilação do sistema (F_m) e da força transmitida ao elemento suporte de cargas

$$\left| \frac{F_m}{F_t} \right| = \left| \sqrt{\frac{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \right| \qquad (6)$$

De uma forma genérica, sob a acção de uma força sinusoidal de direcção vertical actuando um pavimento horizontal, o ponto de aplicação adquire (em regime permanente) a velocidade de amplitude complexa V dada por:

$$\vec{V} = \frac{\vec{F}}{\vec{Z}(\omega)} \qquad (7)$$

onde $\vec{F}$ representa a amplitude complexa da força aplicada e $\vec{Z}(\omega)$ a impedância mecânica no ponto de aplicação e para a pulsação ω da força.

Admitindo que a aplicação do pavimento flutuante não altera a impedância mecânica do elemento de suporte tem-se que a razão das velocidades adquiridas por este elemento, quando solicitado directamente ou através do pavimento flutuante, é igual à razão das forças aplicada no pavimento e transmitida ao suporte de cargas. Pode considerar-se que a energia sonora transmitida para o recinto sob o pavimento em causa é proporcional ao quadrado da velocidade do elemento de suporte de cargas no ponto de impacte. Portanto, a atenuação introduzida pelo pavimento flutuante será:

$$R = 10 \log \left| \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right] + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 4\gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \right| \qquad (8)$$

Na figura 4 representa-se a variação de R com (ω/ω_0) para factores de amortecimento diversos.

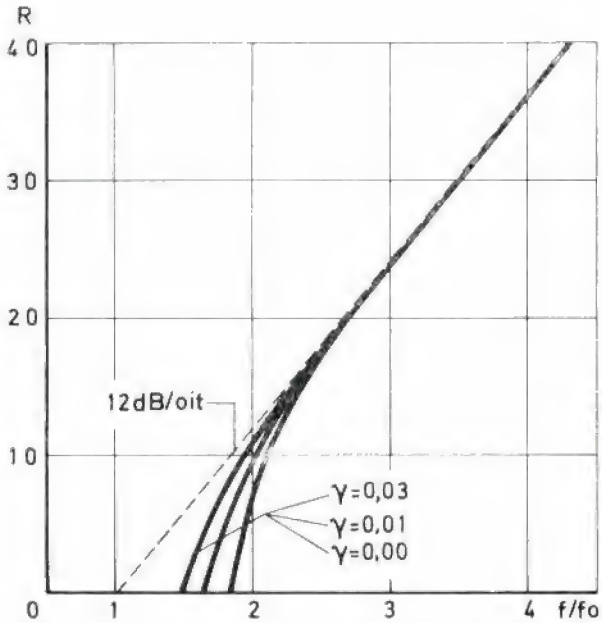


FIG. 4 — Variação da atenuação R no domínio da frequência

a área de 0,3 m × 0,3 m. A medição da frequência de oscilação faz-se a partir de oscilogramas (figura 6) do sinal de saída de um detector que mede os deslocamentos da lajeta em relação à base; a excitação realiza-se por percussão instantânea.

A determinação do valor do índice α, $I\alpha$, [1] correspondente ao pavimento flutuante e a sua qualificação de acordo com a prática corrente em França (seguida dada à falta de normalização nacional) pode fazer-se (para habitações) através do diagrama da (figura 7), onde o parâmetro m se reporta à massa por unidade de área do elemento de suporte.

3 — RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com o objectivo de avaliar o grau de aproximação dos resultados obtidos a partir do método descrito

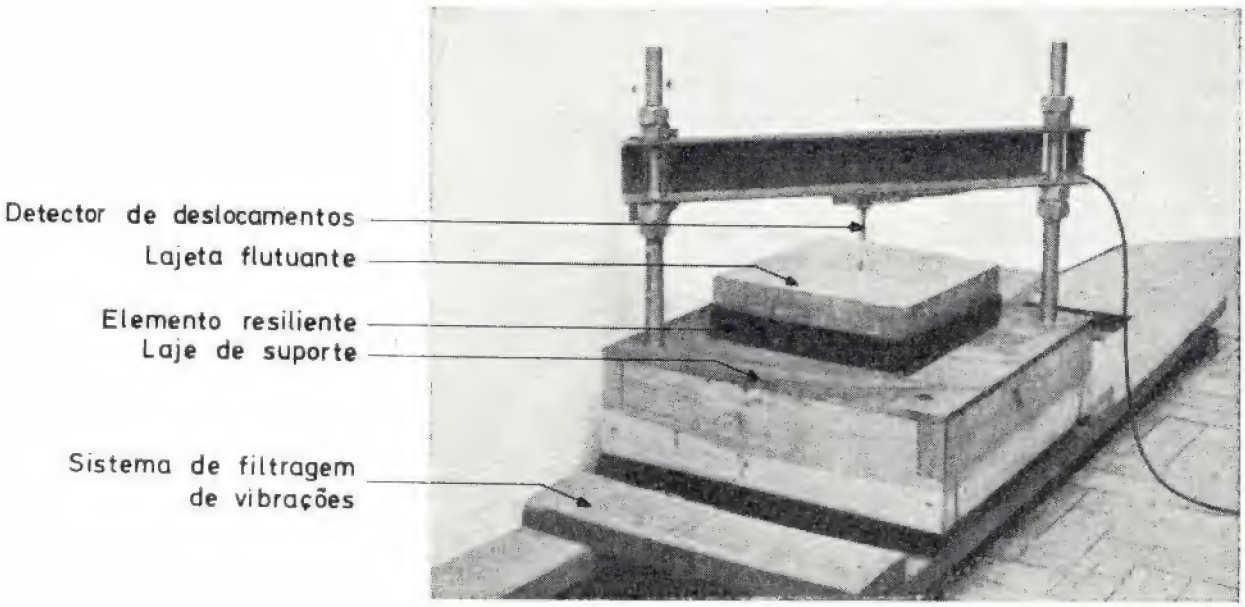


FIG. 5

Desprezando o amortecimento e para valores elevados de frequência [digamos $(\omega/\omega_0) > 3$] pode tomar-se:

$$R \simeq 10 \log \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^4$$

Nestas condições, verifica-se que o único parâmetro de que depende (praticamente) a atenuação é da frequência de oscilação do sistema em regime não amortecido. Para este valor da frequência, o amortecimento é nulo e cresce de 12 dB por oitava, para frequências superiores.

O dispositivo experimental realizado (figura 5) compreende uma laje de inércia elevada — apoiada sobre um sistema filtro passa-alto, relativamente a oscilações veículadas pelo pavimento da sala de ensaios — sobre a qual assenta o material resiliente e uma lajeta com

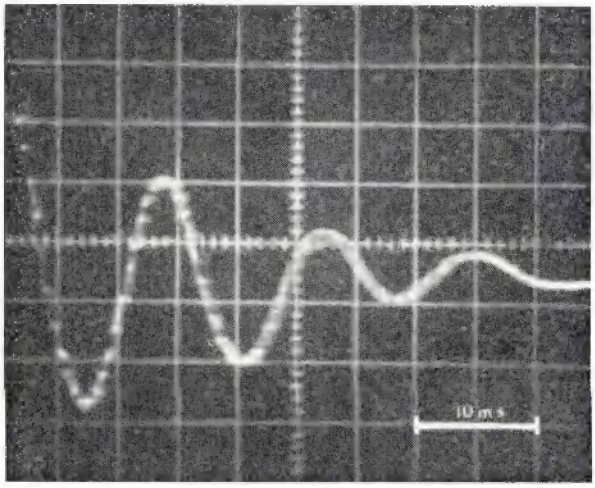


FIG. 6

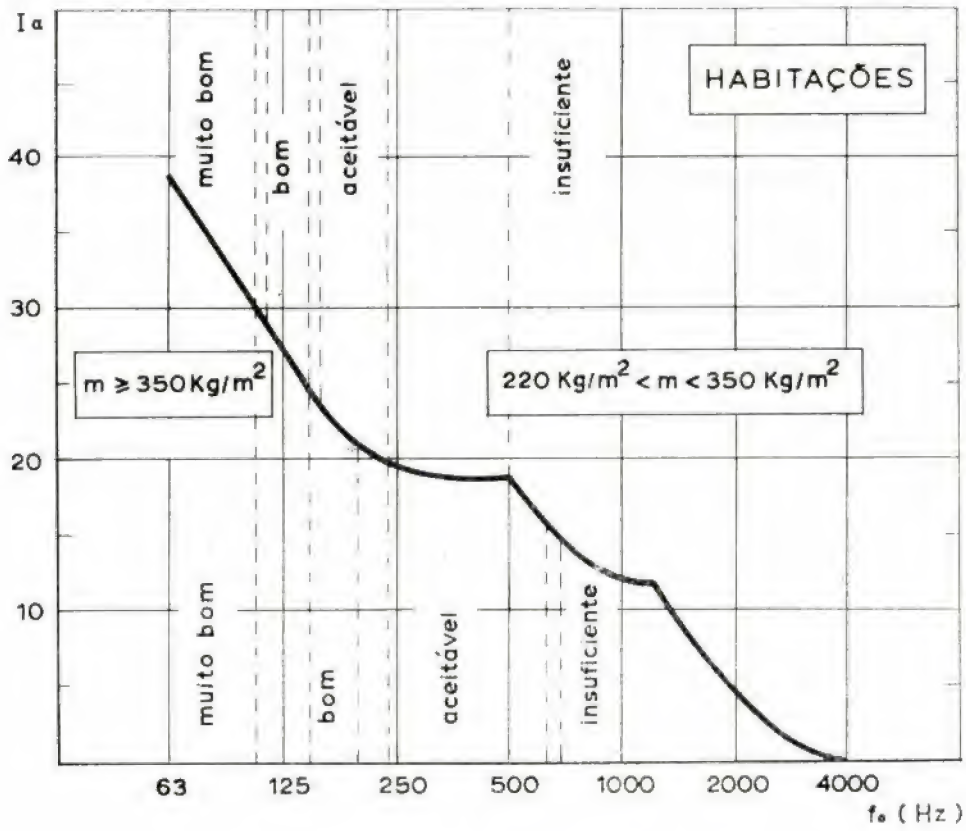


FIG. 7 — Determinação de I_α e qualificação do pavimento

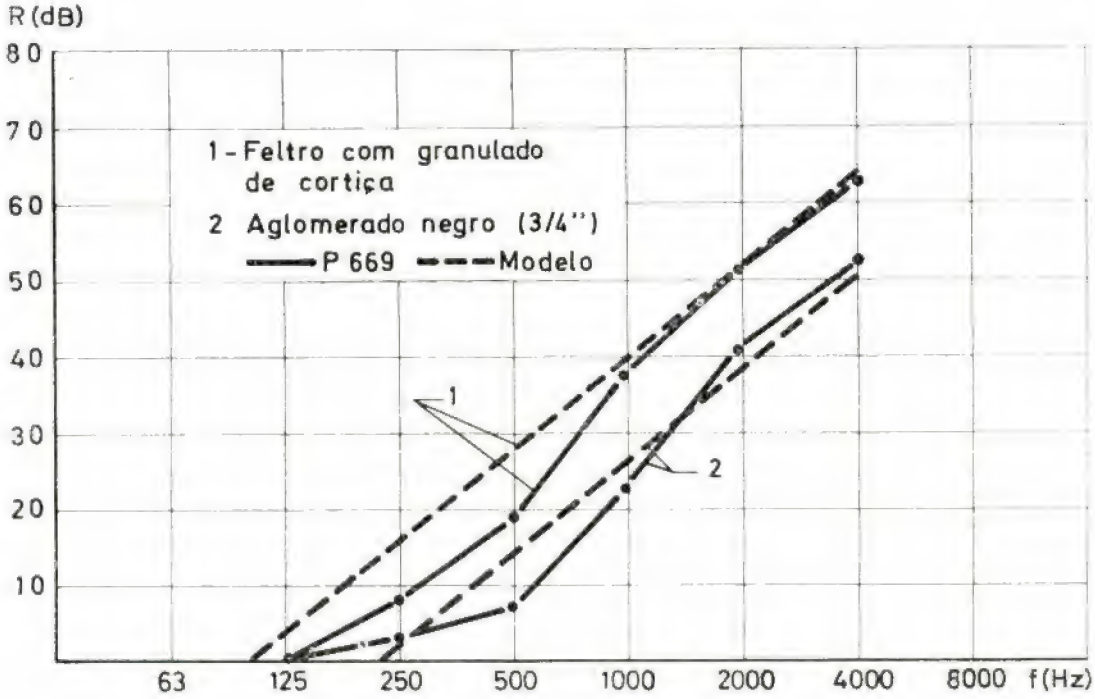


FIG. 8 — Resultados experimentais

anteriormente com os obtidos por aplicação da técnica referida na Norma Portuguesa P689/1968 (que segue a recomendação ISO R 140/1960), fizeram-se ensaios comparativos diversos, envolvendo aglomerados negros de cortiça e feltros com granulado de cortiça aderente. Alguns dos resultados obtidos representam-se na (fig. 8), verificando-se que há, efectivamente, uma boa concordância, que parece suficiente para justificar o recurso ao método agora preconizado, pelo menos na fase de «ajuste» do processo de fabrico de um material para incorporação como camada resiliente em pavimentos flutuantes.

De acordo com R. JOSSE [2] faz-se notar que os resultados obtidos em modelo podem, para materiais resilientes contendo ar que pode circular na sua estrutura (por exemplo lã de vidro), necessitar ser corrigidos visto que, no real — dadas as maiores dimensões do provete — a possibilidade de circulação do ar aprisionado é menor e, portanto, maior a rigidez que apresenta. A correcção a introduzir na frequência de ressonância é, ainda de acordo com a referência bibliográfica indicada, reduzida, não ultrapassando um acréscimo de cerca de 10 % no valor da frequência de ressonância, o que não parece relevante.

AGRADECIMENTO

Ao Eng.° Ricardo Teixeira Duarte, pela colaboração valiosa no desenvolvimento do dispositivo experimental para ensaio em modelo dos pavimentos.

Ao Ajud. Experimentador Manuel Vitorino Cabaço Sadio pela boa vontade posta na realização dos sucessivos ensaios.

BIBLIOGRAFIA

[1] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment — *R. E. E. F.*, Vol. II (Acoustique), 1969.

[2] JOSSE R. — *Efficacité Acoustique des Revêtements de Sol*, Cahier n.° 398(50) du C. S. T. B., 1961.

Equipamento Brown Boveri no mundo da tracçao

Equipamento eléctrico para automotoras a corrente contínua como por exemplo em composições do metropolitano, sistemas de tráfego veloz e de ligação de linhas ferroviárias de curta distância

compreendendo:

Motores de tracção
Regulação electrónica de velocidade (sistema «chopper») e travões automáticos
Sistema de comando sem contactos empregando elementos semicondutores
Equipamento de aquecimento e iluminação do comboio
Transmissão de informações comboio/via férrea para comando automático de tracção.

Representada em Portugal por:

Sociedade de Electricidade

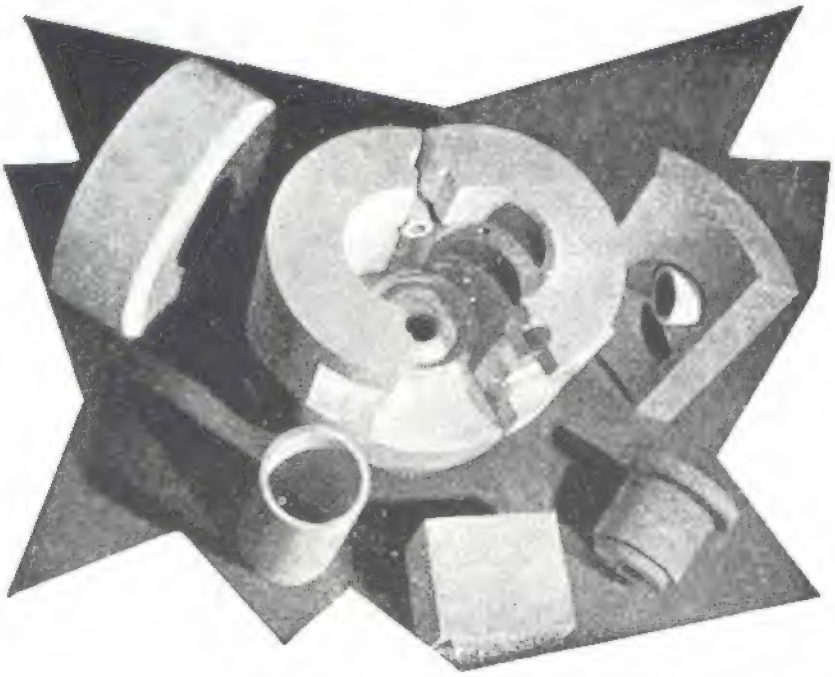
Brown Boveri Limitada

Rua de Sá da Bandeira, 481-2°, Porto .

151661 b VI

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

C. D. U. 628.3

Reutilização da água

J. SERAFANA
Eng. Químico-Industrial (I. S. T.)

RESUMO

O artigo compara, sob um ponto de vista predominantemente económico, diversos métodos para tratamento e posterior reutilização da água com vista a determinar os custos e as vantagens dessa reutilização.

SYNOPSIS

This paper looks to several methods of water treatement and reuse, specialy from the economic point of view.

1 — CLASSIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E DOS AGENTES POLUIDORES

1.1 — INTRODUÇÃO

A recirculação da água utilizada começou há pouco tempo a impor-se aos grandes utilizadores, como meio de abastecer grandes unidades e/ou evitar que as mesmas viessem a poluir caudais disponíveis a juzante.

Hojo em dia, o agravamento da situação em alguns locais, faz já pensar na forma de realizar a recuperação dos efluentes domésticos, como meio de fornecer às populações a quantidade de água que pretendem, com uma qualidade aceitável, embora se não esteja ainda psicologicamente preparado para uma tal alternativa.

O interesse posto no tratamento de efluentes, criou a necesidade de desenvolver novas técnicas de análise e comparação económica, entre os vários processos tecnológicos disponíveis.

Estas considerações economicas, incluem:

— custos de cada processo (capital e operação) para que o efluente atinja uma dada qualidade;

— aperfeiçoamentos possíveis no processo considerado, no sentido de diminuir os custos e/ou aumentar a eficiência;

— possibilidade de recuperar alguns dos custos através dos produtos separados e/ou da água reutilizada.

Na maioria dos casos o tratamento escolhido dependerá dos agentes poluidores e da sua concentração.

Estes tratamentos são tradicionalmente classificados em três grupos, conforme a ordem por que são normalmente usados e a qualidade do efluente a que dão lugar (quadro I).

A separação dos agentes poluidores comumente usada — orgânicos e inorgânicos — tem uma deficiência evidente. Nalguns casos (fosfatos e nitratos por exemplo), os poluidores inorgânicos dão origem a poluições de tipo orgânico por actuarem como nutrientes da matéria viva. Noutros são os produtos orgânicos que se degradam originando poluições de tipo inorgânico (decomposição pelo calor dando NH_3 e SH_2).

De qualquer modo estas divisões são práticas e como tal muito usadas, dado que os processos de tratamento são distintos num caso e noutro.

1.2 — TRATAMENTO DA ÁGUA

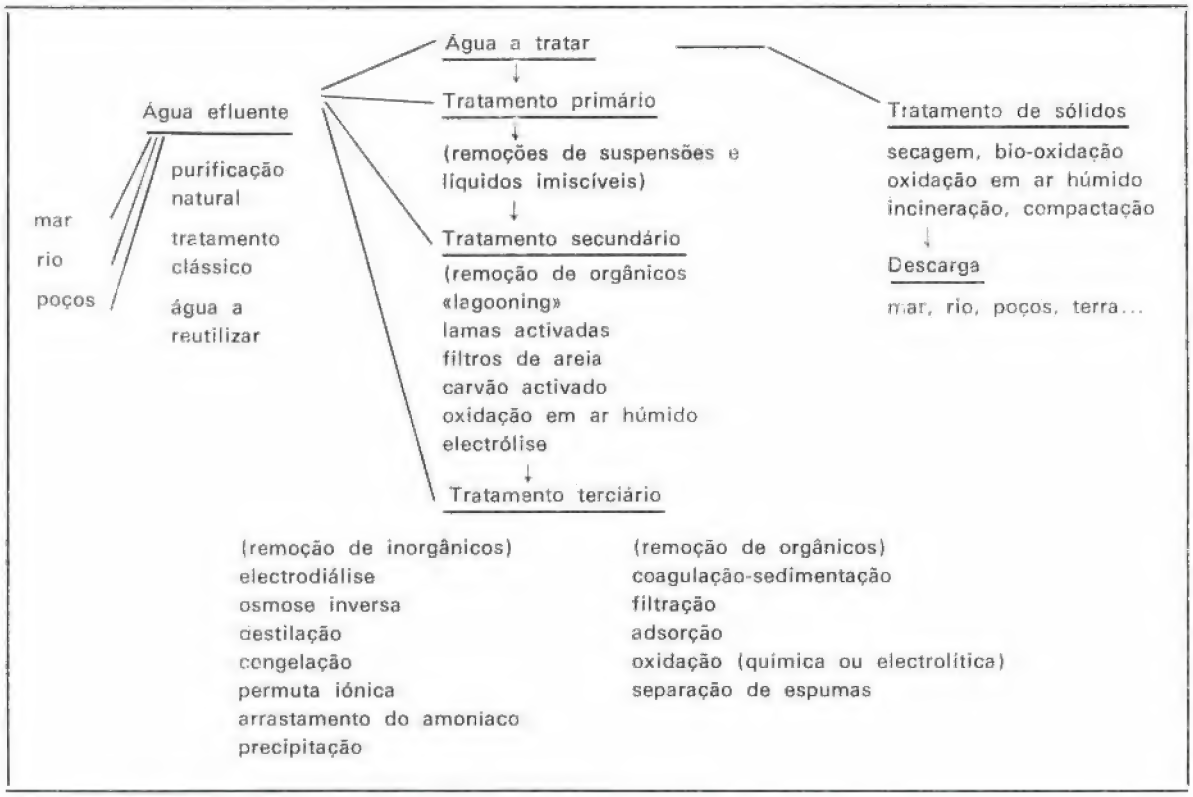
O tratamento primário, conforme o quadro I referido, consiste em crivagens, decantações e filtrações simples. Muitas impurezas são assim removidas antes de se proceder ao tratamento propriamente dito, evitando-se a presença de suspensões e de líquidos imiscíveis nos tratamentos secundários, permitindo obter maior eficiência para estes, quer pela diminuição do BOD (Biological Oxygen Dissolved), quer pela separação de partículas que iriam obstruir os leitos de filtração.

Após o pré-tratamento realizado, a água é tratada de forma a reduzir o BOD, por meio de técnicas muito diversas destinadas ao arejamento e esterilização da água (lamas activadas, arejamento, filtração, adsorção, etc...), por forma a aumentar a quantidade de oxigénio dissolvido, técnicas que constituem o chamado tratamento secundário.

Quando passamos aos tratamentos terciários, como é natural a variedade de processos é ainda maior, constituindo estes afinações dos anteriores, por vezes com aplicações muito específicas, quer do fluente quer da alimentação.

Normalmente, o uso destes processos conduz a uma água com menos de 25 mg/l de COD e menos de 1 mg/l de sólidos em suspensão. O total de sólidos dissolvidos também pode ser substancialmente reduzido pelo uso de processos de dessalga.

QUADRO I



QUADRO II

Qualidade do efluente resultante de diversos tratamentos (condições óptimas)

Processo	BOD	COD	S S	N	P	TSD
sedimentação (a)	10-30	—	50-90	—	—	—
flotação (a)	10-50	—	70-95	—	—	—
lamas activ. (b)	< 25	(c)	< 20	(d)	(d)	—
arejamento (b)	< 50	—	< 50	—	—	—
adsorção (b)	< 2	< 10	< 1	—	—	—
arrastamento (b)	—	—	—	< 95	—	—
precipitação (b)	—	—	< 10	—	< 1	—
permuta iónica (b)	—	—	< 1	(e)	(e)	(e)

BOD — Biol. Oxy. Dem.
COD — Organic oxy. Dem.
S S — Sólidos em suspensão
N — Azoto
P — Fósforo
TSD — Total de sólidos dissolvidos

(a) — % removida
(b) — mg/1
(c) — COD (final) = [COD (inicial) − BOD (retirado)]/0,9
(d) — N (final) = N (inicial) − 0,12 × excesso de lamas activadas
(e) — depende da resina usada e da eficiência desejada

2 — VANTAGENS DA REUTILIZAÇÃO

É evidente a vantagem de reutilização da água pela economia de recursos que proporciona, no entanto, há que equacionar o problema tendo em conta o custo da recuperação.

Para decidir, é necessário comparar para a quantidade desejada, o custo do abastecimento convencional e o das operações de tratamento para tornar a água com a qualidade desejada.

O balanço económico pode apresentar-se assim:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Custo da água de alimentação} \\ \text{Transporte convencional} + \text{Tratamento necessário} + \text{Rede de esgotos} \end{array}\right] \text{versus}$$

$$\left[\begin{array}{c} \text{Tratamento de esgotos} + \text{Recuperação de produtos} + \text{Produtos reutilizados} \\ \text{Custo da água recirculada} \end{array}\right]$$

A vantagem da recirculação depende do que se poupa em transportar um caudal menor de água ou no que se ganha com a recuperação de produtos contidos na água. A recirculação será especialmente vantajosa se os contaminantes são em pequena quantidade, valioso ou facilmente removíveis.

A recirculação é também indicada no caso de ser imperativo evitar a poluição pelo efluente e será facilitada se as especificações de qualidade de água forem bastante flexíveis.

Para avaliar o sistema de recirculação é usual utilizar a relação entre o caudal de água recirculada (Q_r) e o caudal que passa no processo (Q_o).

É evidente, que tal quociente está relacionado com o número médio de vezes que a mesma água passa no processo, pois que $Q_r + n.Q_r = n.Q_o$ e logo vem:

$$\frac{Q_r}{Q_o} = \frac{n}{1+n} \simeq 1 - 1/n \text{ para } n > 10$$

O custo do abastecimento do caudal Q_o, será a soma dos custos de alimentação com os de recirculação.

Enquanto que os primeiros, na vizinhança de um dado caudal aumentam linearmente com a quantidade fornecida, os segundos aumentam mais que proporcionalmente com a reutilização.

Teremos então que se for:

$$c = a.\frac{Q_o - Q_r}{Q_o} + b.\left(\frac{Q_r}{Q_o}\right)^k$$

ver figura 1

$$\frac{d\,c}{d\,(Q_r/Q_o)} = -a + k.b.\left(\frac{Q_r}{Q_o}\right)^{(K-1)} = 0$$

implica que o valor óptimo de Q_r/Q_o, será:

$$\left(\frac{Q_r}{Q_o}\right)^* = \left(\frac{a}{k.b}\right)^{1/(k-1)}$$

ver figura 1

ou ainda que:

$$n^* \simeq 1/(1 - Q_r/Q_o)^* = 1/[1 - (a/k.b)^{1/(k-1)}]$$

Note-se que «a», «b» e «k» são parâmetros experimentais que dependem das condições locais.

Supos-se até aqui, apenas por motivos de simplificação que existia uma única fonte de abastecimento.

No caso de termos várias origens possíveis a custos unitários diferentes o problema põe-se em relação a cada aumento das necessidades, visto que a exploração racional do sistema conduzirá a utilizar água cada vez mais cara (mais distante, mais profunda ou de pior qualidade, isto é, exigindo maior tratamento).

3 — ANÁLISE TÉCNICA DA ASSOCIAÇÃO DE TRATAMENTOS

3.1 — INTRODUÇÃO

Os vários casos adiante considerados foram escolhidos de forma a produzirem água cada vez melhor.

Claro que é de esperar que o custo desta produção aumente, à medida que se obtém um efluente de melhor qualidade.

Para poder dar uma ideia mais completa da purificação realizada considera-se que a água de alimentação a tratar tem a seguinte composição, a qual corresponde ao esgoto de uma cidade industrializada:

BOD	260 mg/l
Sólidos em suspensão	275 mg/l
Sais dissolvidos	900 mg/l
pH	7,6
Alcalinidade ($Ca\ Co_3$)	250 mg/l
Dureza ($Ca\ CO_3$)	300 mg/l
Fosfatos (P)	25 mg/l
Azoto (NH_3)	20 mg/l

3.2 — TRATAMENTO BASE

Esta unidade faz a remoção dos sólidos em suspensão o que permite reduzir ao mesmo tempo o valor do BOD.

Dadas as condições iniciais e admitindo uma redução de 91 % dos sólidos em suspensão e do BOD teríamos, após o tratamento uma água cuja qualidade diferia da anterior nos seguintes valores:

BOD	23 mg/l
Sólidos em suspensão	25 mg/l

Este tratamento base, verdadeiro tratamento primário, consiste numa crivagem seguida de clarificação (fig 2).

O efluente é depois arejado de forma a que as substâncias ciloidais presentes possam ser separadas num clarificador secundário, graças à acção de bactérias aeróbicas.

O efluente secundário, relativamente límpido e livre de substâncias orgânicas é clorado à saída da unidade.

As lamas do segundo clarificador são concentradas por centrifugação filtrante e incineradas.

A escolha da incineração resulta da maior independência deste método quanto à localização, em comparação com o método da oxidação em ar húmido. As diversas unidades a seguir consideradas vão tratar o efluente obtido neste tratamento base.

3.3 — FILTRAGEM EM LEITO DE AREIA

O efluente do tratamento anterior é filtrado com o objectivo de reduzir ainda mais as suspensões, mantendo-se constante a matéria dissolvida.

Dado que é natural existirem variações de caudal ao longo do dia, resultantes do próprio funcionamento intermitente do filtro, é necessário construir um tanque de retenção destinado a regularizar a operação (fig. 3).

A água de lavagem do filtro é recirculada para o clarificador primário.

A água tratada terá a composição aproximada seguinte (variações):

BOD	15 mg/l
Sólidos em suspensão	1 mg/l

A desinfecção pelo cloro só é feita no final do tratamento.

3.4 — ADSORÇÃO E FILTRAGEM EM LEITO DE CARVÃO

O filtro de areia pode ser substituido por um leito de carvão, o qual retira da água não só a matéria em suspensão como a quase totalidade das substâncias orgânicas dissolvidas não removidas pelo tratamento base (fig. 4).

Tal como no caso anterior a operação necessita de um tanque de retenção destinado a regularizar o caudal efluente.

A adsorção é realizada em duas colunas associadas em série a fim de obter um melhor aproveitamento do carvão.

À saída o efluente apresentará as seguintes variações de composição:

BOD	5 mg/l
Sólidos em suspensão	1 mg/l

Os leitos de carvão são levados em contra-corrente, tal como os de areia, para retirar as suspensões retidas.

Quando necessário o carvão é regenerado em fornos exteriores sendo o carvão consumido nesta operação, usbstituido por carvão novo.

A adição de cloro é sempre a última fase do tratamento.

3.5 — TRATAMENTO COM CAL, ARRASTAMENTO DO AMONÍACO E CARVÃO ACTIVADO

A adição de cal, elevando o pH, permite retirar os elementos fertilizantes assim como as substâncias orgânicas.

A adição de cal, elevadno o pH, permite retirar os fosfatos por precipitação e facilita o arrastamento do amoníaco pelo ar (fig. 5).

Os resíduos orgânicos coloidais são arrastados mais facilmente devido à presença de um precipitado. Os produtos orgânicos solúveis são retirados por colunas de carvão idênticas às de 3.4.

Como resultado das operações efectuadas haverá as seguintes variações da análise da água:

BOD	1 mg/l
Sólidos em suspensão	1 mg/l
Sais dissolvidos	575 mg/l
Alcalinidade	150 mg/l
Dureza (Ca CO_3)	50 mg/l
Fosfatos (P)	1 mg/l
Azoto (NH_3)	2 mg/l

A desmineralização verificada é devido à precipitação dos fosfatos e carbonatos presentes na água.

A limpeza das colunas de carvão activado faz-se neste caso com uma solução contendo anidrido carbónico, a fim de solubilizar o carbonato de calcio retido.

As lamas resultantes do tratamento pela cal e de recarbonatação, são secas e calcinadas para se regenerar a cal e aproveitar o anidrido carbónico.

Tal como nos casos anteriores, a água é clorada no final para desinfecção.

3.6 — ADSORÇÃO E ELECTRODIÁLISE (OSMOSE INVERSA)

Por vezes os tratamentos anteriores não são suficientes havendo que desmineralizar a água.

Entre os processos possíveis, actualmente já industrializados, encontram-se os de electroidálise e de osmose inversa.

Para evitar a obstrução das membranas com os produtos orgânicos eventualmente existentes na água de alimentação, faz-se passar esta por um leito de carvão activado (fig. 6 e 7).

A água obtida terá uma qualidade ainda melhor, traduzida pelos seguintes valores de análise:

BOD	1 mg/l
Sólidos em suspensão	1 mg/l
Sais dissolvidos	500 mg/l
Dureza (Ca CO_3)	110 mg/l
Fosfatos (P)	20 mg/l
Azoto (NH_3)	10 mg/l

Tal como em casos anteriores, para regularizar a alimentação é necessário um tanque de retenção.

Os dois tratamentos dão resultados semelhantes, embora, como adiante se verá a osmose inversa seja um pouco mais cara principalmente devido ao consumo de electricidade nas bombas de alta pressão.

3.7 — DESTILAÇÃO

A destilação é por enquanto um método experimental no tratamento de esgotos mas já com grande aplicação na dessalga da água do mar.

No caso dos esgotos, tem-se pensado no tratamento de apenas uma fracção do caudal total, já que a água obtida está quase isenta de sais dissolvidos ou outras substâncias, permitindo assim a mistura desta com o caudal restante, tratado por outro processo, de forma a que se obtenha água com a qualidade desejada.

Para além do tratamento base, a água obtida por destilação necessita sempre de um tratamento prévio para evitar incrustações ($Ca\ SO_4$, $Ca\ CO_3$, $Mg(OH)_2$) ou diminuir a corrosão (NH_4 sobre o cobre).

Verifica-se pois que a destilação, a ser utilizada, terá que ser agrupada em paralelo com outro tipo de tratamento (fig. 8) ao contrário das associações em série anteriores.

O fim da destilação é diminuir a quantidade de sais dissolvidos na água, pois que a remoção de produtos orgânicos é possível fazer-se por processos convencionais mais baratos.

4 — ANÁLISE ECONÓMICA DA ASSOCIAÇÃO DE TRATAMENTOS

Os processos de tratamento considerados anteriormente permitem obter água cada vez melhor e daí ser natural que o seu custo seja cada vez maior.

A fim de simplificar o cálculo do custo total supôs-se que ele era obtido pela soma dos custos de cada uma das operações necessárias pelo que se julga possível uma redução destes, através da optimização do tratamento conjunto.

O caudal a tratar pela estação é de $100.10^3\ m^3$/dia, e para se poder fazer uma correcção aproximada do capital necessário para outras capacidades, representam-se na figura 9 os factores de escala para os vários casos.

No quadro III indica-se a decomposição das necessidades de capital, para os vários arranjos atrás considerados e o caudal de $100.10^3\ m^3$/dia, referido.

O quadro IV, apresentado a seguir, indica as várias parcelas que constituem o custo de cada tratamento.

O consumo de combustível inclui a incineração, regeneração do carvão e calcinação da cal.

A electricidade é gasta em bombas, ventiladores e outro equipamento (electrodiálise por exemplo).

Os produtos químicos usados são especificados,

QUADRO III

Necessidades de capital — 1000 U.S. $

Tratamento	I	II	III	IV	V	VI	VII
Terreno	450	500	500	680	680	680	680
Arranjo local	519	557	557	742	742	742	742
Tratamento primário	1916	1916	1916	1916	1916	1916	1916
Tratamento secundário	2772	2772	2772	2772	2772	2772	2772
Transp. de sólidos	1842	96	1842	1842	1842	1842	1842
Inst. de cloração	96	405	96	96	96	96	96
Tanque de retenção	—	1842	405	405	405	405	405
Filtro de areia	—	1788	—	—	—	—	—
Filtro de carvão	—	—	2492	1484	2492	2492	—
Tratamento de cal	—	—	—	3719	—	—	—
Remoção do amoníaco	—	—	—	2575	—	—	—
Electrodiálise	—	—	—	—	6025	—	—
Osmose Inversa	—	—	—	—	—	4020	—
Destilação	—	—	—	—	—	—	20184
Armazenagem da água	—	332	332	332	332	332	332
Distribuição e aux.	494	601	624	667	711	711	711
Serviços gerais	178	182	193	208	207	207	210
Construções	478	503	503	624	624	624	624
Projecto e outros	1560	1985	2033	3010	3120	2786	5086
TOTAL	10305	13479	14265	21022	21965	19625	35600

I — tratamento base
II — tratamento base + filtro de areia
III — tratamento base + adsorção
IV — tratamento base + precipitação + + arrastamento + adsorção
V — tratamento base + adsorção + electrodiálise
VI — tratamento base + adsorção + osmose inversa
VII — tratamento base + destilação

Note-se ainda como já foi dito que estes valores se referem a um caudal de $100.10^3\ m^3$/dia pelo que ahverá que corrigi-losmediante o factor de escala determinado por meio de leitura da figura 9.

para que se possa fazer uma ideia mais concreta da sua importância no custo total.

Os materiais necessários à manutenção das unidades em bom funcionamento avaliam-se em 1% do capital investido em cada uma.

O custo da mão-de-obra inclui o pessoal operatório, de manutenção e de escritório.

O encargo com o seguro supõe-se de 0,5% do investimento e o interesse sobre o mesmo de 5,0% (embora baixo admite-se este juro por se tratar de um serviço público que normalmente obterá financiamentos directamente do Banco Central).

A amortização da unidade é calculada para um período de 25 anos, o que juntamente com a taxa indicada vem a originar um encargo de 7,1% ao ano sobre o capital depreciável.

Para tentar reduzir os efeitos da inflação sobre os valores a seguir apresentados e por ser mais fácil actualizar os mesmos valores com base em literatura de origem americana apresentam-se estes em moeda americana. Tal facto não obsta a que se apresentem conjuntamente sempre que possível as conversões para escudos portugueses.

QUADRO IV

	Custos do tratamento						c /m³
Tratamento	I	II	III	IV	V	VI	VII
Cambustível	0,158	0,158	0,212	0,848	0,212	0,212	19,620
Electricidade	0,516	0,636	0,675	0,914	1,230	1,748	1,905
Coagulantes	0,555	0,792	0,792	0,792	0,792	0,792	0,555
Cal	—	—	—	0,265	—	—	—
Ac.° sulfúrico	—	—	—	—	0,501	0,582	0,501
Cloro	0,132	0,132	0,132	0,079	0,079	0,079	0,079
Carvão activado	—	—	0,186	0,106	0,186	0,186	—
Membranas ED	—	—	—	—	0,715	—	—
Membranas OI	—	—	—	—	—	1,220	—
Outros	0,265	0,318	0,344	0,501	0,530	0,476	1,060
Remoção de sólidos	0,053	0,053	0,053	0,159	0,053	0,053	0,053
Remoção da salmoura	—	—	—	—	0,501	0,501	0,501
Mão-de-obra	1,032	1,161	1,298	1,458	1,458	1,458	1,458
Seguro (0,5 %)	0,132	0,159	0,159	0,265	0,265	0,239	0,450
Amortização (7,1 %)	1,775	2,330	2,420	3,600	3,755	3,360	6,100
Interesse s/ cap. op.	0,053	0,053	0,079	0,106	0,132	0,132	0,792
TOTAL	4,671	5,792	6,350	9,093	10,409	11,038	33,074

* Os números romanos referem o mesmo tratamento que o indicado no quadro III.

Como se verifica deste quadro o custo do combustível torna praticamente inviável, na actualidade, o uso do processo de destilação, dados os recentes aumentos do preço do combustível.

5 — FORMAS DE PROVER AO ABASTECIMENTO DAS POPULAÇÕES

5.1 — INTRODUÇÃO

O problema do abastecimento às populações urbanas tem-se vindo a agravar devido ao incremento das necessidades, provocado pelo aumento explosivo da população urbana e do consumo específico da mesma população, assim como devido às distâncias cada vez maiores a que é preciso ir buscar água.

O investimento por metro linear necessário ao transporte da água pouco tem aumentado devido às progressivas possibilidades de mecanização deste sector, no entanto, trata-se sempre no seu conjunto de somas vultuosas, a dispender de uma só vez, a amortizar em prazos dilatados, que por vezes será difícil justificar se a utilização não é suficiente, isto é, se as necessidades imediatas não absorvem o caudal disponível.

A forma de realizar aumentos de abastecimento, pode pois ser a utilização de um tratamento unitariamente mais caro, mas capaz de ser utilizado em pleno durante toda a sua vida útil.

Ao aplicar estas considerações e tendo em conta o que foi escrito nos parágrafos anteriores, considerar-se-ão os casos resumidos no quadro V e supõe-se uma cidade com um milhão de habitantes, um consumo de 300 l/hab. × dia e um caudal de esgoto de cerca de 66% da alimentação.

QUADRO V

Água natural
Água tratada
s/ desmineralização
tratamento grosseiro dos esgotos
tratamento fino dos esgotos
recirculação total ou parcial
c/ desmineralização
electrodiálise
osmose inversa
destilação em paralelo com outro tratamento

A comunidade dispõe de água natural ao preço de 5,30 c/m³ (1,6$/m³). A salinidade é de 250 ppm. O esgoto apresenta uma salinidade superior à da alimentação em 500 ppm. A evacuação deste para o rio (ou para o mar) custa 0,76 c/m³ (0,24$/m³). A bombagem para fazer recircular os esgotos depois de tratados avalia-se em 1,59 c/m³ (0,48$/m³). Em caso algum a salinidade da água para consumo pode exceder os 500ppm.

Para melhor se apreciar a influência da poluição na possibilidade de recirculação dos esgotos, e consequente possibilidade de aproveitamento das vantagens da recirculação apreciar-se-á igualmente o caso em que o esgoto apresenta um aumento de salinidade de 750 ppm, mantendo-se constantes todas as outras hipóteses feitas.

Alimentação	0,66 × 4,671 × 0,93	5,30
Tratamento base	0,66 × 0,76	2,87
Esgotos	5,30	0,50
		8,67 c/m³(2,60$/m³)

Este tratamento é já considerado obrigatório nos grandes aglomerados urbanos de muitos países onde o problema da poluição se tem posto com maior acuidade que no nosso país.

5.4 — TRATAMENTO FINO DOS ESGOTOS

Neste caso os problemas de poluição já se não virão

Alimentação	0,30	5,30
Tratamento base	0,66 × 4,671 × 0,03	2,87
Filtração com carvão	0,66 × 1,679 × 0,88	0,98
Esgotos	0,66 × 0,76	0,50
		9,65 c/m³ (2,90 $/m³)

Dada a pureza da água obtida é possível recirculá-la até que se atinja o limite de salinidade previamente fixado.

5.2 — ÁGUA NATURAL

Este caso tem como pressuposto a falta de uma regulamentação oficial sobre poluição, não sendo obrigatório o tratamento dos esgotos, pelo que a água utilizada é deitada para o rio ou para o mar.

O custo desta água será pois de:

Alimentação	5,30	5,30
Esgotos	0,66 × 0,76	0,50
		5,80 c/m³ (1,74$/m³)

O custo do abastecimento será de 1,74$/m³, mas haverá sempre a possibilidade de se levantarem problemas relacionados com a poluição localizada no ponto de descarga e a poluição mais generalizada de todo o curso de água a juzante desse ponto.

Além disso, o desperdício de recursos fará com que a comunidade venha sentir mais tarde dificuldades tanto maiores quanto menores forem as reservas de que disponha.

5.3 — TRATAMENTO GROSSEIRO DOS ESGOTOS

O tratamento agora utilizado corresponde ao descrito no capítulo 3.2.

Atendendo a que só parte da água de alimentação será tratada (66%) e que portanto o caudal a tratar será de:

10^6 hab.×300.l/hab.×dia×0,66=200.10^3 m³/dia.

Haverá que efectuar o custo do tratamento obtido no quadro IV de um factor de escala lido na figura 9.

a pôr, com frequência ficarão resolvidos, dado que a qualidade do tratamento utilizado permite retirar os compostos orgânicos na sua quase totalidade. (tratamento referido em 4.4).

O custo do tratamento será deste modo:

Assim a reutilização da água, só possível após o tratamento efectuado, vem permitir não só a economia de recursos como a de dinheiro.

5.5 — RECIRCULAÇÃO DO ESGOTO TRATADO

Neste caso é possível uma economia importante da água natural.

Dado que são necessários à comunidade 300.10^3 m^3/dia, para o máximo de água recirculada possível — há que evitar que a água distribuída tenha uma salinidade superior a 500 ppm — conclui-se que (fig. 10):

$Q_o = 300.10^3$ m^3/dia

$Q_o + Q_r = Q_a$

$s_o Q_o = s_r . Q_r + s_a . Q_a$

ou seja, como $s_o = 500$ ppm, $s_a = 250$ ppm, se $s_r = 750$ ppm

$Q_r = 150.10^3$ m^3/dia

$Q_a = 150.10^3$ m^3/dia

se $s_r = 1000$ ppm

$Q_r = 1000.10^3$ m^3/dia

$Q_a = 200.10^3$ m^3/dia

Como o tratamento não faz variar a salinidade da água, o caudal recirculado é só função das salinidades — s_o, s_r, s_a — duas das quais foram fixadas «a priori».

$(s_o - s_a)\ Q_o = (s_r - s_a).Q_r$

ou ainda

$$Q_r / Q_o = \frac{250}{s_r - 250}$$

função que fica representada na figura 11.

Se não houvesse que introduzir factores de escala seria agora fácil relacionar os custos da água com a recirculação. A presença destes faz com que seja preferível determinar graficamente e por pontos essa função (fig. 11).

A título de exemplo apresentam-se os cálculos para $s = 750$ ppm e $s_r = 1000$ ppm.

Alimentação	0,50 × 5,30	2,650
Recirculação	0,50 × 1,59	0,795
Tratamento base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filtração c/ carvão	0,50 × 1,679 × 0,90	0,756
Esgotos	0,16 × 0,76	0,122
		7,221 c/m^3 (2,17 \$/m^3)

Alimentação	0,66 × 5,30	3,198
Recirculação	0,34 × 1,59	0,541
Tratamento base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. c/ carvão	0,34 × 1,679 × 1,00	0,571
Esgotos	0,32 × 0,76	0,244
		7,752 c/m^3 (2,33 \$/m^3)

Como se verifica, a recirculação permite baixar os custos de abastecimento de água mesmo em relação a um tratamento mais grosseiro (5.3).

Por outro lado, a quantidade de água utilizada foi também muito menor.

Assim, pode concluir-se que este tipo de sistema permite, para uma mesma procura, proporcionar um menor consumo da fonte inicial e dá origem a um menor esgoto e, portanto, a menor poluição, ao mesmo tempo que favorece a economia.

5.6 — TRATAMENTO DE DESMINERALIZAÇÃO

Consideram-se neste breve estudo três casos, electrodiálise, osmose inversa e destilação, que correspondem aos casos tratados anteriormente.

Em qualquer dos casos a água do esgoto pode ser totalmente recirculada, pois o tratamento permite que a água para consumo nunca tenha uma salinidade superior a 500 ppm. (As purgas do sistema serão inferiores a 5 % e correspondem a necessidade de remover a salmoura resultante a qual por vezes terá elevado interesse económico devido à possível recuperação dos sais nela dissolvidos).

No caso da desmineralização por electrodiálise, o custo do m^3 de água consumida — com a salinidade limite de 500 ppm — é função dos caudais de cada tratamento parcial. Estes são determinados pela resolução do seguinte sistema:

$Q_o = 300.10^3$ m^3/dia

$Q_o + Q_r = Q_o$

$0,66 \times Q_o = Q_1 + Q_2$

$s_o\ Q_o = s_r\ Q_r + s_a Q_a$

$s_r\ Q_r = s\ Q_1 + 0,85.\ s_{ED}\ Q_2$

$Q_r = Q_1 + 0,85\ Q_2$

Oned Q_1 e Q_2 representam as partes dos esgotos não tratada e tratada, respectivamente; s_e e s_{ED} as salinidaddes do esgoto e após o tratamento de electródialise; o factor 0,85 refere a necessidade de formar uma salmoura à qual se atribuem 15 % do total tratado.

Nas condições referidas, $s_a = 250$ ppm, e $s_o = 500$ ppm, os caudais dentro da rede do sistema da fig. 13 dependerão de s_e, já que o tratamento de electródialiso estará afinado para deixar sair a água com uma concentração de 500 ppm.

Assim, se $s_e = 750$ ppm, vem

$Q_o = 300.10^3$ m³/dia

$Q_r = 0{,}62\ Q_o = 186.10^3$ m³/dia

$Q_a = 0{,}38\ Q_o = 114.10^3$ m³/dia

$Q_1 = 0{,}38\ Q_o = 114.10^3$ m³/dia

$Q_2 = 0{,}28\ Q_o = 84.10^3$ m³/dia

$Q_{ED} = 0{,}85\ Q_2 = 0{,}24\ Q_o = 72.10^3$ m³/dia

$Q_{ed} = 0{,}15\ Q_2 = 0{,}04\ Q_o = 12.10^3$ m³/dia

$s_r = 653$ ppm $\qquad s_{ed} = 2250$ ppm

Se $S_e = 1000$ ppm

$Q_o = 300.10^3$ m³/dia

$Q_r = 0{,}59\ Q_o = 177.10^3$ m³/dia

$Q_o = 0{,}41\ Q_a = 123.10^3$ m³/dia

$Q_1 = 0{,}205\ Q_o = 61{,}5.10^3$ m³/dia

$Q_2 = 0{,}455\ Q_o = 136{,}5.10^3$ m³/dia

$Q_o = 0{,}387\ Q_{ED} = 116.10^3$ m³/dia

$Q_{ed} = 0{,}068\ Q_o = 26{,}5.10^3$ m³/dia

$s_{ed} = 674$ ppm $\qquad s_r = 3750$ ppm

Do mesmo modo se obteriam os valores respectivos para $s_e = 1250$ ppm ou 1500 ppm, o custo por metro cúbico da água consumida será neste caso de: (fig.13):

$s_e = 750$ ppm

Alimentação	0,38 × 5,30	2,014
Recirculação	0,62 × 1,59	0,986
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. c/ car.	0,66 × 1,679 × 0,87	0,964
ED	0,28 × 4,059 × 1,02	1,159
Esgotos	0,04 × 0,76	0,030
		8,051 c /m³ (2,42$/m³)

$s_e = 1000$ ppm

Alimentação	0,41 × 5,30	2,173
Recirculação	0,59 × 1,59	0,938
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. c/ car.	0,66 × 1,679 × 0,87	0,964
ED	0,655 × 4,059 × 0,95	1,755
Esgotos	0,068 × 0,76	0,052
		8,780 c /m³ (2,63$/m³)

$s_e = 1250$ ppm

Alimentação	0,42 × 5,30	2,226
Recirculação	0,58 × 1,59	0,922
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,66 × 1,679 × 0,87	0,964
ED	0,52 × 4,059 × 0,94	1,984
Esgotos	0,08 × 0,76	0,061
		9,055 c /m³ (2,71$/m³)

$s_e = 1500$ ppm

Alimentação	0,42 × 5,30	2,226
Recirculação	0,58 × 1,59	0,922
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,66 × 1,679 × 0,87	0,964
ED	0,55 × 4,059 × 0,93	2,076
Esgotos	0,08 × 0,76	0,061
		9,167 c/ /m³ (2,74$/m³)

O ligeiro encarecimento da água, traduz uma importante economia de recursos.

A partir duma certa salinidade dos esgotos as necessidades de água de alimentação pouco variam.

No caso de usar, como técnica de dessalinização, a osmose inversa, tudo resulta de forma idêntica obtendo-se os custos seguintes:

s_e = 750 ppm	8,240 c/m³
s_e = 1000 ppm	8,361 c/m³
s_e = 1250 ppm	8,053 c/m³
s_e = 1500 ppm	9,487 c/m³

A variação dos custos é da ordem dos 0,3 c/m³ o que corresponde a cerca de 0,1 $/m³ e é portanto tão aproximada que permite supor que noutras condições (capital mais caro, electricidade mais barata, novas membranas — mais possível no caso da OI pois se trata de um método mais recente).

A destilação permite — dada a maior pureza do efluente e à menor quantidade de salmoura formada — uma maior recuperação de água.

Não é necessário tratar com carvão a água a destilar, no entanto, a elevada pureza do efluente destilado faz com que não seja necessário tratar, deste modo uma grande quantidade de água e portanto a juntar ao elevado custo do tratamento há ainda que ter em conta um factor de escala grande como se verá.

O esquema de tratamento será ligeiramente diferente (fig. 8).

Admite-se que a salmoura é apenas 1 % da caudal que entra no evaporador e que a água destilada não contém quaisquer sais dissolvidos. Assim tem-se:

s_e = 750 ppm

Alimentação	0,341 × 5,30	1,807
Recirculação	0,659 × 1,59	1,048
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,553 × 1,679 × 0,90	0,836
Destilação	0,007 × 28,403 × 2,5	7,598
Esgotos	0,001 × 0,76	0,001
		14,188 c/m³ (4,26 $/m³)

s_e = 1000 ppm

Alimentação	0,342 × 5,30	1,813
Recirculação	0,658 × 1,59	1,046
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,414 × 1,679 × 0,94	0,653
Destilação	0,246 × 28,403 × 1,15	8,035
Esgotos	0,002 × 0,76	0,002
		14,447 c/m³ (4,33 $/m³)

s_e = 1250 ppm

Alimentação	0,343 × 5,30	1,818
Recirculação	0,657 × 1,59	1,045
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,331 × 1,679 × 1,00	0,556
Destilação	0,329 × 28,403 × 1,00	9,345
Esgotos	0,003 × 0,76	0,002
		15,664 c/m³ (4,70 $/m³)

s_e = 1500 ppm

Alimentação	0,344 × 5,30	1,823
Recirculação	0,656 × 1,59	1,043
Trat. base	0,66 × 4,671 × 0,94	2,898
Filt. carvão	0,276 × 1,679 × 1,06	0,491
Destilação	0,384 × 28,403 × 0,94	10,252
Esgotos	0,004 × 0,76	0,003
		16,510 c/m³ (4,95 $/m³)

Nota-se uma economia de recursos ainda maior, a obtenção de salmouras mais concentradas (o que facilitaria a remoção dos produtos com interesse) mas, o custo do tratamento torna-o pouco competitivo em face dos outros processos de dessalinização.

Com efeito, não só a escala do evaporador é pequena como também este processo apresenta as suas vantagens mais realçadas para o tratamento de águas mais salinizadas — como é o caso da água do mar — em virtude dos processos anteriores serem incapazes de fornecer com uma só passagem água com salinidade não superior a 500 ppm se o efluente a tratar tiver mais de 4000 a 5000 ppm (o que obriga nestes casos a efectuar vários tratamentos em série.

6 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento das necessidades de água para satisfazer o aumento da população não pode acarretar a morte destas à sede antes tem que acompanhar aquelas necessidades.

O uso criterioso das disponibilidades e a possibilidade de reutilização da água, através dos vários processos considerados, permite a sobrevivência e incremento do processo urbano, mesmo em climas áridos onde não o parecia possível há bem poucos anos.

Todas as comunidades podem reduzir o seu consumo através de melhoramentos de processo, melhor utilização e com a reutilização da água.

É o caso da água de arrefecimento em que a recirculação permite reduzir as necessidades em mais de 90 %.

A necessidade de tratar a água dependerá das condições existentes numa dada região.

Com efeito, se as necessidades são escassas e o caudal de água disponível abundante, a natureza procede, por si só, à purificação da água durante o trajecto desta entre os vários utilizadores, por meio das forças biológicas de que dispõe.

Se os caudais são pequenos em relação à procura, estes processos são menos eficientes e, assim, cada utilizador receberá água progressivamente inferior.

Particularmente, o aumento da actividade industrial obriga a atende cada vez mais aos efeitos dos efluentes poluidores nas águas superficiais.

As indústrias dependerão assim da reutilização e/ou do tratamento para evitar a presença de substâncias indesejáveis nos seus efluentes.

Teremos processos directos e indirectos para realizar este fim.

O processo indirecto consiste na utilização de águas subterrâneas e recarga das bacias aquíferas quer por injecção subterrânea do esgoto quer por aspersão do mesmo numa área mais ou menos extensa.

Os processos directos podem ser internos, em série ou mistos.

Os processos internos consistem a utilização de um circuito fechado — admite-se que haja uma pequena purga mesmo contínua — sendo a água utilizada no mesmo processo inúmeras vezes.

Tal é o caso da ágca que circula entre um condensador duma turbina e uma torre de arrefecimento.

Os processos em série, permitem a interligação entre os vários consumidores ou os vários serviços da mesma fábrica de forma a minimizar o custo total da utilização. Assim, a água começa por abastecer os consumidores mais exigentes em qualidade e só depois os restantes.

Esta optimização será difícil não só para conjugação dos caudais que entram e saem de cada classe de utilizadores como pelo aumento desmesurado da rede de distribuição se não houve inicialmente o cuidado de racionalizar a implantação dos diversos utilizadores.

A conjugação destes dois métodos consiste o processo misto em que portanto, a utilização em série e a recirculação (total ou por sectores, completa ou parcial em cada sector) permite a melhor economia de água.

No aspecto económico a economia do processo global estará obrigatoriamente condicionada em cada caso pelo seguinte conjunto de condições a analizar em cada caso (fig. 14):

VANTAGENS DA RECIRCULAÇÃO

redução do consumo de produtos quim.;
redução das perdas de calor;
redução da poluição;
aumento da flexibilidade da unidade;
facilidade de tratamento e transporte das purgas (maior concentração);
diminuição das necessidades;
facilidade de recuperação de subprodutos;
facilidade de aumento do parque industrial graças à economia de recursos efectuada.

DESVANTAGENS DA RECIRCULAÇÃO

facilidade de surgirem crescimentos biológicos inesperados;
aumento das incrustações;
aumento das prespectivas de corrosão;
aumento do preço das ligas metálicas para resistirem às condições emergentes de uma água de pior qualidade;
eventual aumento do custo da água.

Para além da recirculação para poupar a água haverá ainda a ter em conta entre outros os seguintes itens:

medição e controlo da água consumida em cada secção;
uso de válvulas e outros aparelhos automáticos sempre que possível;
controlo das pressões e temperaturas em cada secção;
projecto racional do consumo eficiente da água;
manutenção do estado de limpeza dos permutadores de calor;
uso de água salgada sempre que tal for tolerável;
uso de tanques de retenção para poupar excessos periódicos;
isolamento das condutas de água para evitar perdas.

NOMENCLATURA

a → c te (custo da água natural);

b → c te (custo da água recirculada);

c → custo total;

k → constante (s/ dimensões, função da quantidade a recircular);

n → n.º médio de vezes que a água passa no processo;

Q_a → caudal de alimentação;

Q_s → caudal total;

Q_r → caudal recirculado;

Q_e → caudal de esgoto;

Q_{ed} → caudal regeitado no processo de electrodiálise;

Q_{ED} → caudal tratado por electrodiálise;

s_a → salinidade da alimentação;

s_o → salinidade da mistura alimentação-recirculação;

s_r → salinidade da recirculação;

s_e → salinidade do esgoto;

s_{ed} → salinidade do esgoto da electrodiálise;

s_{ED} → salinidade do caudal tratado por electrodiálise.

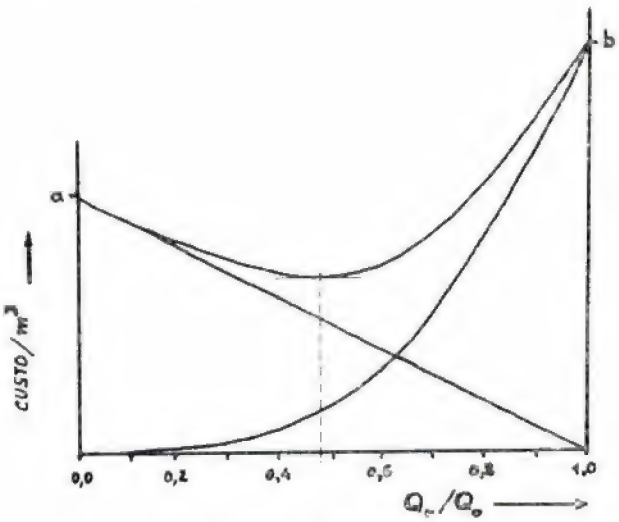


FIG. 1

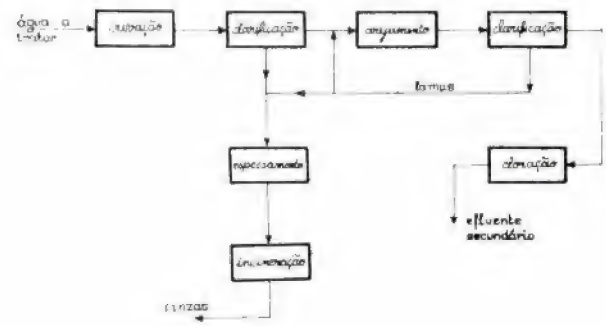


FIG. 2

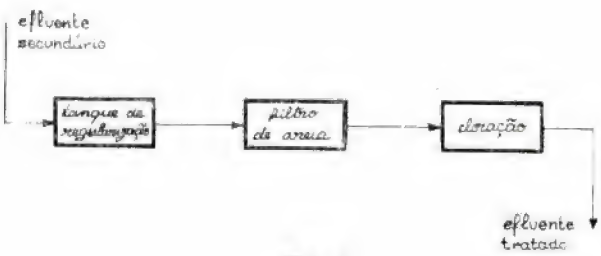


FIG. 3

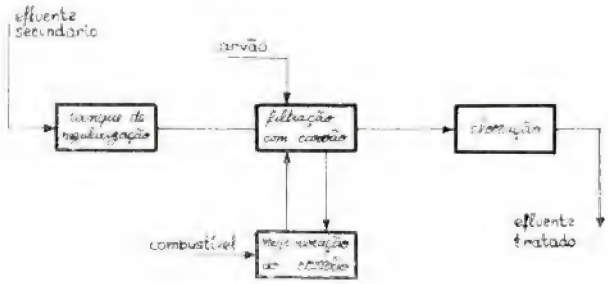


FIG. 4

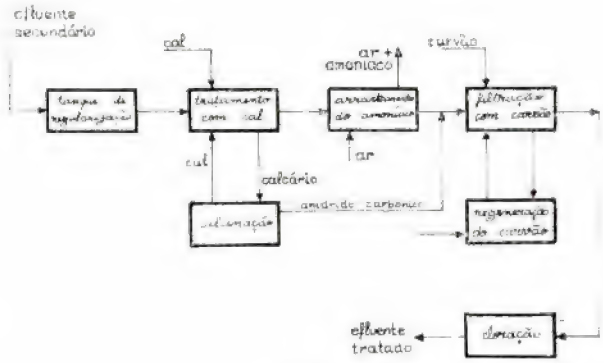


FIG. 5

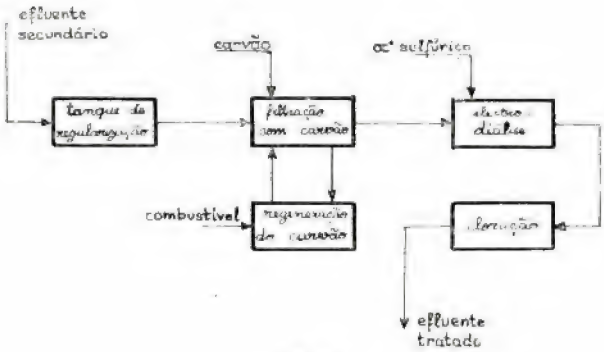


FIG. 6

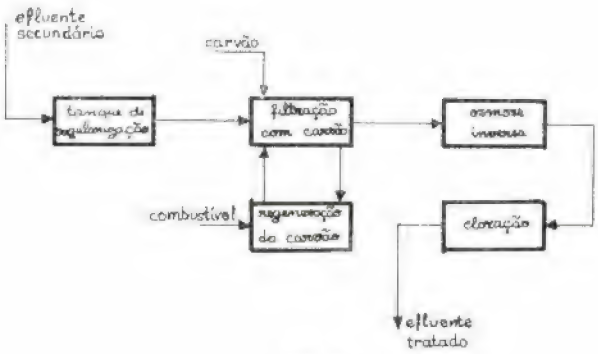


FIG. 7

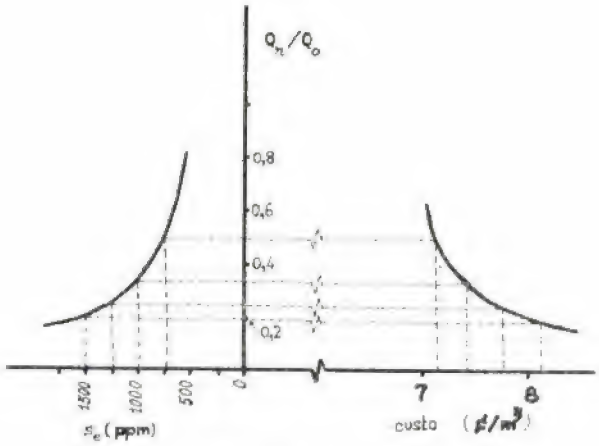


FIG. 11

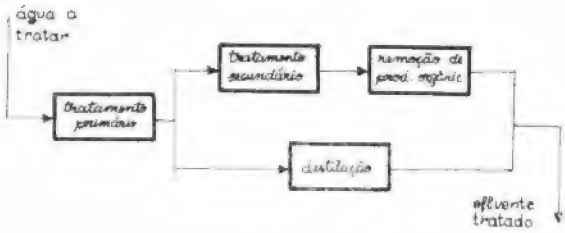


FIG. 8

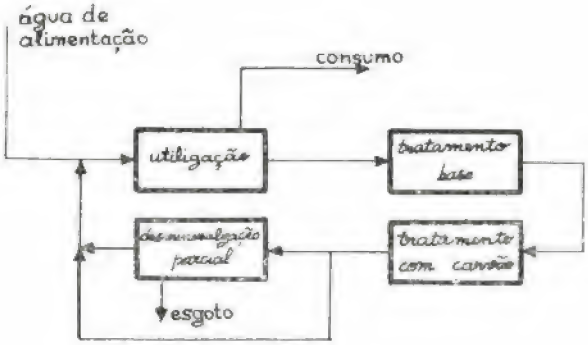


FIG. 12

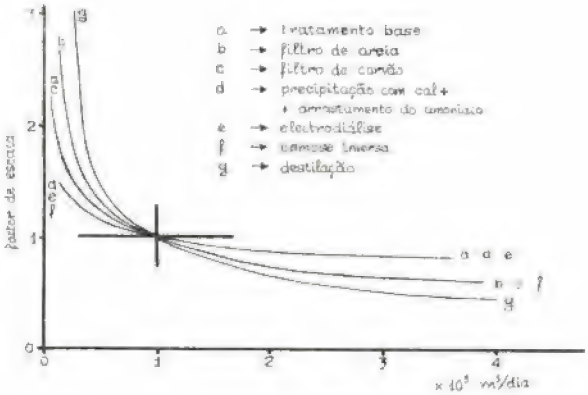


FIG. 9

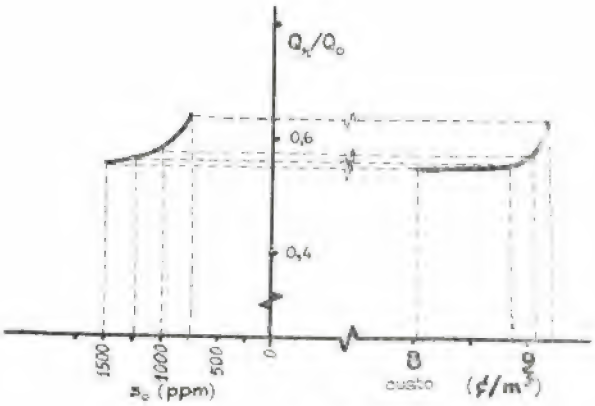


FIG. 13

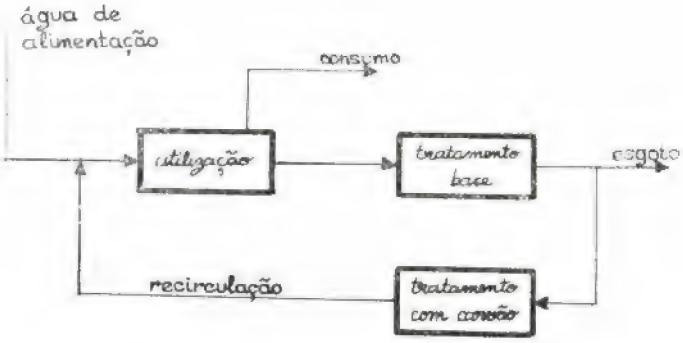


FIG. 10

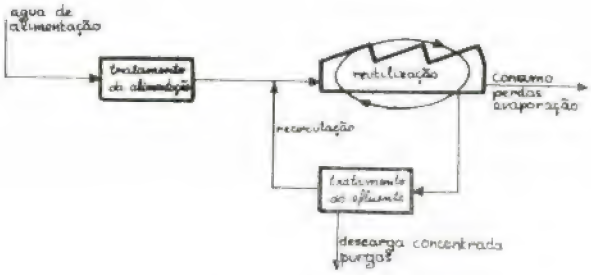


FIG. 14

Feiras, Conferências, Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÕES
Feira Internacional de Bagdade	Bagdade 1 a 21 de Outubro - 75
Feira Técnica de Estocolmo	Estocolmo 16 a 22 de Outubro - 75
Feira Internacional de Guatemala	Guatemala 1 a 17 de Novembro - 75
VI ène Colloque International — ITA sur «La Clientèle ou Transport Aérien en 1980	Paris 19 a 21 de Novembro - 75
Feira Técnica Internacional	Lima 12 a 23 de Novembro - 75
ELFACK — 75 Feira Internacional de Electrónica	Gutemburgo - Suécia 26 a 30 de Novembro - 75
Brazil's 1 st Internacional Mechanical Engineering and Electronic Trade Fair	São Paulo 20 a 30 de Novembro - 75
Conchete and Aggregates Industries Look Forward to Giant Houston Show in'76	Houston - Texas 1 a 5 de Fevereiro - 76
Internacional Spring Fair	Birmingham 1 a 5 de Fevereiro - 76
PRO — IN'76 Congresso Internacional e Exposição de Novidades	Düsseldorf 21 a 25 Fevereiro - 76
Exposição Internacional de CON IX Congresso Mundial de Minéria	Düsseldorf 22 al 29 Mayo - 76 Minéria 76
7. Exposição Internacional de Fundição Injectada e Feira das Industrias Suiça	Basle - (Suíça) 22 a 26 Junho - 76
43.º Congresso Internacional de Fundição	Bucareste 5 a 10 Setembro - 76

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 427

Ano L — Junho 1975

C. D. U. 546.31.9:620.193:66.046.37:621:438

CÉSAR AUGUSTO CORREIA DE SEQUEIRA

«CORROSÃO A ALTAS TEMPERATURAS DAS LIGAS DE NIQUEL NAS TURBINAS DE GÁS»

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 317 a 327

Neste artigo, examinam-se os conhecimentos actualmente existentes sobre fenómenos de corrosão das superfícies metálicas nas zonas quentes das turbinas de gás.

C. D. U. 699.844:624.025.3

P. MARTINS DA SILVA

PAVIMENTOS FLUTUANTES. ENSAIO EM MODELO PARA QUALIFICAÇÃO DO ISOLAMENTO A TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE PERCUSSÃO

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 349 a 354

A avaliação, em laboratório, da eficácia de um pavimento flutuante em atenuar a transmissão de ruídos de percussão é laboriosa, por exigir a construção, no local de ensaio, da laje flutuante. Para além disto, obriga ao emprego de uma quantidade relativamente elevada de material resiliente, o que representa uma dificuldade principalmente quando se esteja numa fase de afinação de um processo de fabricação.
Demonstra-se que, com boa aproximação, a frequência de ressonância da laje assente sobre a camada resiliente é o parâmetro de que depende a eficácia do revestimento em atenuar a transmissão de ruídos de percussão. Para uma laje de espessura e composição uniformes e para camada resiliente homogénea, esta frequência é independente da área, podendo determinar-se em modelo reduzdo.
Apresentam-se dados experimentais que evidenciam a concordância dos resultados obtidos do ensaio em modelo com os colhidos de acordo com o processo normalizado.

C. D. U. 007

HELDER COELHO

MEMORANDO SOBRE A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 329 a 342

O texto seguinte abordará de modo sucinto, e por vezes incompleto, a história, o corpo e algumas aplicações da Inteligência Artificial. Sugere-se um projecto de investigação para ser realizado no L. N. E. C., fornecem-se referenciais para motivar os interessados.

D. D. U. 663.63

J. SARAFANA

REUTILIZAÇÃO DE AGUA

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 355 a 367

O artigo compara, sob um ponto de vista predominantemente económico, diversos métodos para tratamento e posterior reutilização da água com vista a determinar os custos e as vantagens dessa reutilização.

C. D. U. 621.374

S. D. ANTUNES

A UTILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS PSEUDO-ALEATÓRIAS NA IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 343 a 347

Utiliza-se correntemente, na determinação da resposta impulsional de sistemas, a correlação cruzada: entrada-saída da resposta do sistema a um sinal pseudo-aleatório.
Neste primeiro artigo descrevem-se as propriedades e o modo de geração dessas variáveis pseudo-aleatórias.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.º 427

L — June 1975

U. D. C. 699.844:624.025.3

P. MARTINS DA SILVA

FLOATING FLOORS. MODEL TESTS FOR ASSESSING THE INSULATION AGAINST IMPACT NOISES

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 349 a 354

The method of evaluating the ability of floating floor to attenuate impact noises is laborious because it requires the construction, on the test site, of a floating slab. Moreover, it implies the use of quite a lot of resilient material, which is a rather difficult task, partcularly if the process of manufacture is still in an improvement stage.
Is it shown, with good approximation, that the resonance frequency of a slab resting on a resilient layer is the parameter governing the officiency of the lining in decreasing the transmission of impact noises. For a slab with uniform thickness and composition and for a homogenecus resilient layer, this frequency is independent of the area and can be determined on a model.
Experimental data showing the agreement between the results obtained in model tests and those obtained by the standard method are presented.

U. D. C. 546.31.9:620.193:66.046.37:621:438

CESAR AUGUSTO CORREIA DE SEQUEIRA

«HEIGH — TEMPERATURE CORROSION OF NICKEL-BASE ALLOYS IN THE GAS TURBINE»

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 317 a 327

A review of high temperature corrosion phenomena concerning components in the hot section of the gas turbine engine is presented.

U. D. C. 663.63

J. SARAFANA

WATER REUSE

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 355 a 367

This paper looks to several methods of water treatement and reuse, specialy from the economic point of view.

U. D. C. 007

HELDER COELHO

OVERVIEW OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 329 a 342

This paper is an iscomplete and necessairy overview of Artificial Intelligence. It discusses the history, the body and some applications, and also it suggests a researce; project to carry out at L. N. E. C. Some references are givenuto support motivation.

U. D. C. 621.374

S. D. ANTUNES

THE IDENTIFICATION OF SYSTEMS BY PSEUDO-RANDOM SEQUENCES

Técnica N.º 427 — L — 6 - 1975, p. 343 a 347

The generation of pseudo-random sequences, and its use on the identification of systems (review article).

Publicações Recebidas

PUBLICAÇÕES PERIÓDICAS

— AGROS
Associação dos Estudantes de Agronomia

—ANNALES DE MECÁNICA Y ELETRICIDAD
Asociacion de Ingenieros del I. C. A. I.

— ASEA — REVUE

— ACTA TÉCHNICA
Academiae Scientiarum Hungaricae

— ANAIS DO CLUBE MILITAR NAVAL

— ANALYTICAL ABSTRACTS
Society for Analytical Chemistry

— ACIER - STAHL - STELL

— ANNALES
Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics

— AEG - TELEFUNKEN AL DIA

— AR COMPRIMIDO
Atlas Copco

— BOLETIM DA CÂMARA MUNICIPAL DE SÁ DA BANDEIRA

— BOLETIM ECONÓMICO E FINANCEIRO
Banco Borges e Irmão

— BOLETIM
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BOLETIM MENSAL DE INFORMAÇÃO
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

— BULLETIN OF THE SEISMOGRAPHIC STATIONS
University of California

— BOLETIM DEL CEMENTO PORTLAND
Instituto del Cemento Portland Argentino

— BOLETIM GTH
Gabinete Técnico da Habitação da Câmara Municipal de Lisboa

— BOLETIM
Sociedade Geológica de Portugal

— BOLETÍN INFORMATIVO IRANOR
Instituto Nacional de Racionalizacion y Normalizacion

— BOLETIM DA ELECTROQUÍMICA E CORROSÃO
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BOLETIM
Departamento de Imprensa e Informação do Governo da República Federal da Alemanha

— BULETINUL
Institutului Politehnic Bucaresti

— BOLETIM
Associação Industrial de Angola

— BULLETIN
Agence Internationale de L'energie Atomique

— BOLETIM DO PORTO DE LISBOA
Administração - Geral do Porto de Lisboa

— BOLETIM DO SERVIÇO CARTOGRÁFICO DO EXÉRCITO

— BOLETIM DE MINAS
Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos

— BULLETIN DE LA CHAMBRE DE COMMERCE BELGE AU PORTUGAL

— CORTIÇA
Instituto dos Produtos Florestais

— CENIM
Centro Nacional de Investigaciones Metalurgicas

— (JOURNAL OF) CHEMICAL EDUCATION
Division of Chemical Education of the American Chemical Society

— CIMENTO E CONCRETO
Associação Brasileira de Cimento Portland

— COMUNICACIONES ELÉCTRICAS
International Telephone and Telegraph Corporation

— CONSTRUCTI

— CARTA GEOLÓGICA DE ANGOLA
Direcção Pronvincial dos Serviços de Geologia e Minas

— CEMENTO HORMIGÓN

— COURRIER CERN

— COLLECTION
Czechoslovak Academy of Sciences

— DYNA
Asociacion de Engenieros Industriales de España

— EL ESTAÑO Y SUS APLICACIONES
Tin Research Institute

— ELECERICITE DE FRANCE
Direction des Etudes et Recherches

— ELECTRICIDADE
Empresa Editorial Electrotécnica Edel, Lda.

— ENDEAVOUR
Imperial Chemical Industries Limited

— ESTUDOS
Banco Fomento Nacional

— ESTUDOS, NOTAS E TRABALHOS
Serviço de Fomento mineiro

— ELECTRICAL COMMUNICATION
International Telephone and Telegraph Corporation

— ECONOMIC REVIEW
Câmara de Comércio Luso-Britanica

— FUNDIÇÃO
Associação Portuguesa de Fundição

— FUNDEXPORT
Fundo de Fomento de Exportação

— GEOTÉCNICA
Revista da Sociedade Portuguesa de Geotécnica

— INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN
Instituto Eduardo Torroja

— ION
Sindicato Nacional de Industrias Químicas

— INDÚSTRIA DE MOÇAMBIQUE
Associação Industrial de Moçambique

— LA HOUILLE BLANCHE
Société Hydrotechnique de France

— LES NOUVELLES DE L' E. I. B.

— METALLURGIA AND METAL FORMING
National Association of drop Forgers and Stampers

— MACHINE TOOL REVIEW

— NOTICIÁRIO DOS ELASTÔMEROS
du Pont

— ONU (CHRONIQUE MENSUELLE)
Service de L'information de L'organisation des Nations Unies

— O PROPULSOR
Sindicato Nacional dos Oficiais de Marinha Mercante

— PRELO
Imprensa Nacional - Casa da Moeda

— PORTUGAL - ALEMANHA
Câmara de Comércio e Indústria Luso-Alemã

— REVISTA DE CIÊNCIAS-BIOLÓGICAS
Universidade de Lourenço Marques

— REVUE LANDIS E GYR (EDITION ELECTRICITÉ)

— REVUE D'IENA

— REVUE SIEMENS
Siemens Antiengesellschaft

— REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

— LA RECHERCHE AÉROSPATIALE
Office National D'Études et de Recherches Aérospatiales

— REVISTA DE METALURGIA
Cenim - Centro Nacional de Investigaciones Metalurgicas

— RAIL INTERNATIONAL
Association Internationale du congrès des chemins de fer et de L'Union Internationale des Chemins de fer

PUBLICAÇÕES NÃO PERIÓDICAS

— PROCESSUS DE PERT D'ÉLECTRONS DANS UN PLASMA CONTRÔLÉ PAR FAISCEAU D'ÉLECTRONS ÉNERGÉTIQUES
Office national d'études et de recherches aérospatiales

— ÉCOULEMENT PLAN AUTOUR D'UN MODÈLE ANIMÉ D'UN MOUVEMENT PÉRIODIQUE
Office national d'études et de rechesches aérospatiales

— CALCUL SIMPLE DES FONCTIONS DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRONS FAISANT DES COLLISIONS INÉLASTIQUES
Office national d'études et de recherches aérospatiales

— ÉTUDE DU BRUIT ET DE SON COMPORTEMENT DANS LES RÉCEPTEURS
Office national d'études et de recherches aérospatiales

— UNE MÉTHODE D'OPTIMISATION APPLIQUÉE AUX STRUCTURES COMPOSITES
Office national d'études et de recherches aérospatiales

— SIMULATION AU SOL DU FLOTTEMENT POUR LES AVIONS DE GRAND ALLONGEMENT
Office national d'études et de recherches aérospatiales

— RAPPORT ANUEL 1974 CERN
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

VICENTE FERREIRA E BRAZÃO FARINHA

TABELAS TÉCNICAS

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA DA ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES
DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO - LISBOA

7ª EDIÇÃO REVISTA E ACTUALIZADA
PREÇO 250.00
DESC. 10% AOS ASSINANTES

Publicidade com critério.

Anuncie na

técnica REVISTA DE ENGENHARIA